

Osnabrücker  
Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH

**Untersuchung zur optimierten stofflichen Verwertung von Sperrmüll  
- insbesondere Matratzen, Teppiche/Teppichböden und Kunststoffe –  
aus Haushaltungen unter Berücksichtigung der gemeinsamen Behandlung  
mit gewerblichen Sperrmüllanteilen**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem AZ: 31221 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von  
Nikolaus Josef Hahnenkamp & Dr. Ralf Jürgen Tuminski

März 2017

# Rohstoffquelle Sperrmüll

Osnabrücker  
Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH



**Untersuchung zur optimierten stofflichen Verwertung von Sperrmüll  
- insbesondere Matratzen, Teppiche/Teppichböden und Kunststoffe –  
aus Haushaltungen unter Berücksichtigung der gemeinsamen Behandlung  
mit gewerblichen Sperrmüllanteilen**

## Endbericht

Gefördert durch:

**Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
(DBU)  
An der Bornau 2  
49090 Osnabrück  
Private Stiftung des bürgerlichen Recht**

06/02		<b>Projektkennblatt</b> der <b>Deutschen Bundesstiftung Umwelt</b>			
Az	<b>31221</b>	Referat	<b>23</b>	Fördersumme	<b>124.800,00</b>
<b>Antragstitel</b>		<b>Untersuchung zur optimierten stofflichen Verwertung von Sperrmüll - insbesondere Matratzen, Teppiche/Teppichböden und Kunststoffe – aus Haushaltungen unter Berücksichtigung der gemeinsamen Behandlung mit gewerblichen Sperrmüllanteilen</b>			
<b>Stichworte</b>		Sperrmüll, Erfassung, Sortierung, Verwertungsquoten, werkstoffliche Verwertung			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
<b>30 Monate</b>		<b>20.03. 2014</b>		<b>31.12. 2016</b>	
Projektphase(n)					
Zwischenberichte					
<b>Bewilligungsempfänger</b>		Osnabrücker Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH Elbestraße 109 49090 Osnabrück		Tel 0541-609150 Fax 0541-6091515	
				Projektleitung Nikolaus Hahnenkamp,, Dr. Ralf Tuminski	
				Bearbeiter Peter Müller, Mareen Bullmann	
<b>Kooperationspartner</b>		Hochschule Osnabrück Albrechtstr. 30 49076 Osnabrück			
<b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b>					
Sperrmüll ist ein wesentlicher Bestandteil des Abfallaufkommens. Das vorliegende und in der Folge dargestellte F & E-Vorhaben ist beantragt worden, um das Wissen über die Stoffströme aus Sperrmüll den Ansprüchen der Kreislaufwirtschaft anzupassen und damit die Möglichkeiten zur werkstofflichen Verwertung zu verbessern sowie in Abhängigkeit von definierten Sortier- und Aufbereitungsverfahren die Verwertungsquote zu erhöhen. Dabei ist die Übertragbarkeit der Sortierchargen auf Dritte und die sich notwendig anschließenden Aufbereitungs- und Verwertungswege sicher zu stellen.					
<b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b>					
Das Thema Rohstoffverknappung ist durch den Konsum von Waren und Gütern geprägt. Die aus dem Konsum entstehenden Abfälle sind das Potential der Sekundärrohstoffgewinnung. Ansätze des F&E-Vorhabens „Rohstoffquelle Sperrmüll“ zeigen auf, dass z. B. die Verwertung der Nichtholzfraktion des kommunalen Sperrmülls bundesweit von ca. 220 TMg/a auf ca. 600 TMg/a gesteigert werden kann und damit ein positives $\Delta$ von bis zu 400 TMg/a zu erzielen ist. Die OAG analysiert dabei die nachhaltige stoffliche Verwertung von Sperrmüll unterschiedlicher Herkunft. Folgende Aspekte wurden beachtet:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sortierung nach Stoffgruppen</li> <li>• Beschaffenheit der Stoffe</li> <li>• mögliche Verwertungswege</li> <li>• eigene Aufbereitungsmöglichkeiten und Verknüpfungen zu den Anforderungen Dritter</li> <li>• Vorbereitung für anschließende Aufbereitungsschritte Dritter</li> </ul>					
Erste Erfahrungen zeigen auf, dass durch die systematische Auseinandersetzung mit einzelnen Produkten und zugehörigen Stoffgruppen sich differenziertere Sekundärrohstoffquellen erschließen lassen. Damit lässt sich u. a. die bisherige weniger qualifizierte energetische Verwertung reduzieren.					
Durch die gezielte Aufbereitung auch von Verbundmaterialien aus dem Sperrmüll lässt sich die werkstoffliche wie auch die energetische Verwertung qualitativ verbessern.					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <a href="http://www.dbu.de">http://www.dbu.de</a>					

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Aus dem F & E Vorhaben lässt sich eindeutig belegen, dass im Sperrmüll Werkstofffraktionen enthalten sind, die aus ökologischen Gesichtspunkten der stofflichen Wiederverwendung zugeführt werden sollten, was sich aus ökonomischen Gründen aber verbietet. Mit der direkten Zuordnung dieser Massen zum Restmüll und der Behandlung in einer Müllverbrennungsanlage werden wichtige Ressourcen ungenutzt vernichtet.

Aus der Diskussion mit Verwertern der selektierten Materialströme ergab sich, dass in Teilbereichen innovative Verwertungsverfahren entwickelt werden. Aus dem Kunststoffteilprojekt der Hochschule Osnabrück ist zu entnehmen, dass das Sekundärmaterial annähernd dem Primärmaterial gleicht, damit ergeben sich neue Aspekte der Verwertung. Deren Umsetzung bedarf der nachgestalteten Abstimmung mit der verarbeitenden Industrie.

Im Zusammenspiel aller Beteiligten (Bürger, Kommune, Gewerbe, Industrie, Entsorger, Handel und Verbände) und der Anpassung von bekannten Strukturen kann über Vermeidung, Zerlegung, gezielte Zuführung zur Erfassung und erster Stoffstromtrennung mit Sortierung das Potential der verwertbaren Stoffe nachhaltig gesteigert werden.

In diese Überlegungen ist die energetische Verwertung in der Kombination thermisch/elektrisch einzubeziehen.

In Bezug auf die Grenzwertproblematik der werkstofflichen Nutzung von Sekundärrohstoffen (z.B. Spanplatten) empfehlen sich Abstimmungsgespräche zwischen dem Gesetzgeber und den Herstellern sowie dem Handel, um Rechtssicherheit für eine höhere Einsatzquote zu schaffen. Ebenso empfehlen sich bezüglich der Zerlegeproblematik gleichgelagerte Gespräche, um die nachfolgende Aufbereitung und Nutzung von Werkstoffen aus dem Sperrmüll zu erleichtern.

Da überregionale Großanlagen zur Aufbereitung und Verwertung von Sperrmüll allein aus logistischen Zwängen wirtschaftlich nicht darstellbar sind, sollten Stoffstromverbunde ermöglicht und gefördert werden.

### ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Die Ergebnisse sollen der interessierten Öffentlichkeit, Teilnehmern von Fachkongressen, Fachunternehmen und weiteren Interessenten zugänglich gemacht werden. An der Hochschule Osnabrück dienen sie als Lehrinhalte.

### ***Fazit***

Mit dem vorliegenden F&E-Vorhaben werden verschiedene Lösungsansätze aufgezeigt und es wird belegt, dass die Gewinnung von Sekundärrohstoffen und die Verwertung von Reststoffen aus dem Sperrmüll nachhaltig möglich sind. Die Ergebnisse zeigen auf, dass hinsichtlich der Verwertung, sei es stofflich oder auch energetisch, Quotensteigerungen möglich sind.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kapitel</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
I	Projektkennblatt	3
II	Inhaltsverzeichnis	5
III	Tabellen	9
IV	Diagramme	10
V	Bilder	10
1	Vorbemerkung	13
2	Einleitung	13
3	Zusammenfassung	13
4	Beteiligte am Projekt Sperrmüll und sperrmüllartige Abfälle	14
5	Sperrmüll und sperrmüllartige Abfälle	15
5.1	Status der sperrmüllartigen Abfälle	15
5.2	Ansätze für das F&E-Vorhaben	15
6	Qualitätskriterien	16
7	Rechtsgrundlagen	19
8	Aufkommen kommunaler und gewerblicher Sperrmüll	23
8.1	Kommunaler Sperrmüll	23
8.2	Gewerblicher Sperrmüll	25
9	Entsorgungsalternativen für kommunalen und gewerblichen Sperrmüll	25
10	Literatur	27
10.1	Sperrmüllanalyse Wien 1999/2000	27
10.2	Sperrmüllanalyse 2010 im Großherzogtum Luxemburg	29
11	Satzung LK OS	29
12	Sperrmüllerfassung – Logistik	30
12.1	Systembeschreibungen	31
12.2	Sperrmüllerfassung im Untersuchungsgebiet Landkreis Osnabrück	33
12.3	Konventionelle Erfassung mit Pressmüllfahrzeugen	34
12.4	Getrennte Erfassung mit Pressmüll- und Kastenfahrzeugen	35
12.4.1	Kunststoffe	35
12.4.2	Polstermöbel	36
12.4.3	Diverse Verbundstoffe	36
12.4.4	Matratzen	36
12.4.5	Textilien, Teppiche	36
13	Bring-Systeme zu Recyclinghöfen	36
13.1	Zweckdienlich gestalteter Eingangsbereich	37
13.2	Entladeebene mit Unterflurstandplätzen für ≤ 40 m <sup>3</sup> Container	37
13.3	Sammelremise für E & E-Schrott, gefährliche Abfälle und Hartkunststoffe ~ 40 m <sup>3</sup> Container	37

13.4	Thema personelle Besetzung der Recyclinghöfe: - Anlieferer sich selbst überlassen –	37
13.5	Zusammenfassung Recyclinghöfe	38
14	Recycling - hier Wieder- bzw. Weiterverwendung - im Zusammenhang mit der Weiterverwendung von Objekten über caritative, aber auch ökonomisch orientierte Unternehmen	39
14.1	Beispiele für soziale Unternehmen	40
14.2	Eco-Mobiliar - Das französische Entsorgungssystem für Möbel	41
14.2.1	Gesetzliche Grundlage	41
14.2.2	Erstinverkehrbringer	41
14.2.3	Betroffene Möbel	41
14.2.4	Abgrenzung WEEE	41
14.2.5	Eco-Mobiliar System	42
14.2.6	Eco-Mobiliar Abrechnungsmodalitäten	42
14.2.7	Pflichtausweis der Gebühr	42
15	Gewerblicher Sperrmüll	42
16.	Kosten der Sperrmüllfassung	45
16.1	Fahrzeugkosten	45
16.2	Kalkulation Recyclinghöfe	47
16.3	Kostenstruktur kommunaler Sperrmüll	47
16.4	Kostenstruktur gewerblicher Sperrmüll	49
17	Sperrmüllsortierung	49
17.1	Beschreibung der Sortierung bei der oag	50
17.2	Einzelbetrachtung des Status Quo der Sortierung und deren Ergebnisse	50
17.2.1	Holz	50
17.2.2	Metalle	51
17.2.3	Kunststoffe	52
17.2.4	Teppiche	52
17.2.5	Textilien	52
17.2.6	Matratzen	52
17.2.7	Polstermöbel	53
17.2.8	Reststoffe	53
18	Gezielte Sortierung von begleitend konventionell mit Pressmüllfahrzeug erfasstem Sperrmüll	54
18.1	Holz	55
18.1.1	Markteinschätzung in Deutschland	63
18.1.1.1	Allgemein	63
18.1.1.2	Werkstoffliche Verwertung	63
18.1.1.3	Thermische Verwertung	63
18.1.1.4	Aussicht	63
18.2	Metalle	64
18.3	Textilien, Gewebe und Teppiche	64
18.4	Kunststoffe	65
18.4.1	Vorgehensweise und Material	67
18.4.2	Sortierung und Herstellung der Prüfkörper	68
18.4.2.1	Vorsortierung	68
18.4.2.2	Nachsortierung	70
18.4.2.3	Vorzerkleinerung, Reinigung, Nachzerkleinerung	72
18.4.2.4	Prüfkörperherstellung durch direkte Formgebung	73
18.4.3	Ergebnisse und Diskussion	73
18.4.3.1	Schmelzfließigenschaften	73
18.4.3.2	Zugfestigkeitsprüfung	74

18.4.3.3	Schlagzähigkeit	76
18.4.3.4	Vergleich zu Neuware	76
18.4.3.4.1	PE-G und Hostalen GD7255	77
18.4.3.4.2	PE-K und Hostalen 4131B	77
18.4.3.4.3	PP-G und ALTECH PP-H A 1000/546 FR	78
18.4.3.4.4	PP-K und ALTECH PP-H A 1000/620 UV-PP	79
18.4.4	Ausblick – Thema Kunststoff	79
19	F&E-Versuch - Gezielte Sortierung von begleitend mit Sperrmüll- und Kastenfahrzeug getrennt erfasstem Sperrmüll sowie gezielte Sortierung von Stoffströmen aus Zerkleinerungsversuchen	81
19.1	Ergebnis der gezielten Sortierung von begleitend mit Sperrmüll- und Kastenfahrzeug getrennt erfasstem Sperrmüll	85
19.2	Gezielte Sortierung von Stoffströmen aus Zerkleinerungsversuchen	87
20	Einsatz von Sortieranlagen Besuchte Anlagen (Ziele dieser Anlagen, Produkte)	88
20.1	Wiefels Nehlsen => EBS (Holzausschleusung)	88
20.1.1	Die Ausstattung der Anlage in der Kurzbeschreibung	89
20.1.2	Wesentliche Erkenntnisse	89
20.1.3	Ergebnis	89
20.2	Gewerbeabfallaufbereitungsanlage (GAA) der Gesellschaft im Ostalbkreis für Abfallbewirtschaftung mbH (GOA) in Ellert	89
20.2.1	Die Ausstattung der Anlage in der Kurzbeschreibung	90
20.2.2	Produktion von Ersatzbrennstoffen	90
20.3	Bochum Sortier- und Aufbereitungsanlage des EKOCity-Verbundes	90
20.3.1	Vorsortieren	91
20.3.2	Zerkleinern	91
20.3.3	Sieben und weitere Stoffstromtrennung	92
20.3.4	Trennen	92
20.3.5	Verwertung der Fraktionen	92
21	Status Quo der Sortierung und Entwicklungsmöglichkeiten	92
21.1	Entwicklung der Aufbereitung	93
21.1.1	Basisanlage – Alternative I (AI)	94
21.1.2	Alternative II (AII)	95
21.1.3	Alternative III (AIII)	96
22	Wirtschaftlichkeit	96
23	Weitergehende Aufbereitung von Verbundobjekten durch händische Zerlegung	98
23.1	Matratzen	98
23.1.1	Matratzenproduktion, Matratzen-Materialien-Mix	98
23.1.2	Altmatratzenpotential	99
23.1.3	Gebrauchsdauer	100
23.1.4	Großanfallstellen	101
23.1.5	Grundsätzliches zur Verwertung von Matratzen	101
23.1.6	Praktische Hinweise zur Zerlegung kleiner Massen von Matratzen	104
23.1.6.1	Beispiel Boxspringbett	105
23.1.6.2	Boxspringbett – Demontageergebnis - Erkenntnisse	106
23.1.7	Verwertung der Schäume	106
23.1.7.1	Recycling von PUR-Weichschaumstoffen	106
24	Schlussbemerkung und Handlungsempfehlung	108
24.1	Vermeidung / Nachnutzung	109
24.2	Bereitstellung / Erfassung	109
24.3	Sammlung / Logistik	110
24.4	Sortierung / Aufbereitung	111

24.5	Wertstoffpotentiale	111
24.5.1	Holz	111
24.5.2	Textil / Teppiche	112
24.5.3	Polstermöbel	112
24.5.4	Metalle	112
24.5.5	Kunststoffe	113
24.5.6	Matratzen	113
24.5.7	Verbunde / Sonstiges	113
25	Fazit	114
V	Literaturverzeichnis	115

## Tabellenverzeichnis

Tabelle	Inhalt	Seite
1	Energieeffizienz am Beispiel der Stoffgruppen Aluminium, Glas & Papier	13
2	Qualitätsfragen	17
3	Anhang 2 zu § 3Abs. 1 AltholzV, Grenzwerte Deutschland	17
4	Grenzwerte Ersatzbrennstoff Zementwerk	18
5	Aufkommen an Haushaltsabfällen, Deutschland 2014	24
6	Sperrmüllzusammensetzung D 2001 bei Erfassung nach Kern	24
7	Durchschnittliche Zusammensetzung von Sperrmüll und dessen Verwertung, Deutschland 2013 (LAMPEL)	25
8	Entsorgungs- respektive Verwertungswege	26
9	Ergebnisse der Sperrmüllsortieranalyse (Anlieferung auf Recyclinghöfen (wienerisch Mistplätze) 1999/2000 (Anteile in Massenprozent und kg)	28
10	Wiederverwendbare und nicht wiederverwendbare Sperrmüllfraktion (Einrichtungsgegenstände, Holz und Holzwerkstoffe) auf drei Wiener Recyclinghöfen (Mistplätzen) in m <sup>3</sup>	28
11	Vergleich der geschätzten Sperrmüllzusammensetzungen 2004 und 2009 im GDL (endbehandelt)	29
12	Bevorzugte Erfassungssysteme Sperrmüll	31
13	Wirtschaftlichen Aspekte der Erfassungssysteme	32
14	Maßnahmen gegen das Berauben des Sperrmülls	32
15	Gewerbemüllsortierung 2016 oag - Massen	43
16	Gewerbemüllsortierung 2016 oag – Stoffanteile	44
17	Kalkulation Sperrmüllsammelfahrzeug (3-Achs-LKW)	45
18	Kalkulation Kastenwagen	46
19	Kalkulationsschema Selbstkosten je Tonne	47
20	Logistikkosten Sperrmüll	48
21	Kosten für die Erfassung und Entsorgung mit Absetz- oder Abrollkipper	49
22	Sortiererergebnisse der Jahre 2010 – 2015	54
23	Sortierung von begleitend konventionell mit Pressmüllfahrzeug erfasstem Sperrmüll im Vergleich mit der Gesamtleistung im Jahr 2015	55
24	Anhang 1 zu § 3Abs. 1 AltholzV	56
25	Anhang 2 zu § 3Abs. 1 AltholzV, Grenzwerte Deutschland	57
26	Grenzwertüberschreitungen Holzproben	57
27	Nationale Unterschiede des Altholzeinsatzes	62
28	Nationale Unterschiede von Grenzwerten, Frankreich/Deutschland	63
29	Versuchsreihen	67
30	Ergebnisse aus der Trennung gemischter Hartkunststoffe des kommunalen Bereichs nach Listen	70
31	Gegenüberstellung mechanischer Daten von PP-G und Hostalen GD7255 ausgehend von vergleichbarem MFR (Basellorlen, 2014)	77
32	Gegenüberstellung mechanischer Daten von PE-K und Hostalen 4131B ausgehend von vergleichbarem MFR (Lyondellbasell, 2016)	78

33	Gegenüberstellung mechanischer Daten von PP-G und ALTECH PP-H A 1000/546 FR ausgehend von vergleichbarem MVR (ALBIS, 2016)	78
34	Gegenüberstellung mechanischer Daten von PP-K und ALTECH PP-H A 1000/120 UV ausgehend von vergleichbarem MVR (ALBIS, 2016)	79
35	Sortieranalyse von konventionell gesammeltem Sperrmüll aus Zerkleinerungsversuchen	88
36	Produktspektrum der Anlage Ellert	90
37	Musterberechnung Spezifische Kosten Sortieranlage Typ 1 - Durchsatz 23.760,00 Mg/a	97
38	Matratzenproduktion Matratzen-Materialien-Mix	99
39	Recyclingzahlen Matratzen	99
40	Recyclingzahlen Matratzen	100

## Verzeichnis Diagramme

Diagramm	Inhalt	Seite
1	Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen zur MVR	73
2	graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen zur MFR	74
3	graphische Darstellung der aus der Schmelzeindexmessung ermittelten Dichte; dargestellt werden die Mittelwerte und Standardabweichungen Zugfestigkeitsprüfung	74
4	Mittelwerte und Standardabweichung der aus dem Zugversuch ermittelten Elastizitätsmodulen	75
5	graphische Darstellung der Mittelwerte sowie Standardabweichungen zur Streckspannung, Zugfestigkeit und Bruchspannung	75
6	graphische Darstellung der Mittelwerte sowie Standardabweichungen zur Steckdehnung, Dehnung bei Zugfestigkeit und Bruchdehnung	76
7	Ergebnisse aus dem Kerbschlagbiegeversuch, dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen zur Kerbschlagzähigkeit	76

## Bildverzeichnis

Bild	Inhalt	Seite
1	Status Quo Sperrmüllbewirtschaftung kommunal	15
2	Schnittstellen Qualitätskriterien – Beispiel Hartkunststoffe	18
3	Erhebung und Darstellung des Sperrmüllaufkommens in Wien im Vergleich zu Deutschland und Vorarlberg	27
4	Vorgaben des Paragraphen 10 der Abfallsatzung des LK-Osnabrücks	30
5	Beziehungen Sammellogistik, Sortierung, Aufbereitung und Verwertung	33
6	Beziehungen rechtlich-organisatorischer Fragen in der kommunalen Sperrmüllfassung	33

7	Differenzenbetrachtung - bereitgestellter zu entsorgtem Sperrmüll	34
8	Blick in Kastenwagen (Sammelbehälter)	35
9	Kastenwagen - Anlieferung	35
10	Recyclinghof - Anlieferung	37
11	Rohrabschnitte (Tiefbau)	44
12	Stoßfänger ABS Automobilindustrie	44
13	Sperrmüll, gewerbliche Auflösung (40 m <sup>3</sup> Cont.)	45
14	„sortierende“ Entladung	45
15	Abläufe Sperrmüllbehandlung	49
16	Anlieferung mit Pressmüllfahrzeug	50
17	Baggergebrochene Holzfraktion (sortierte Spanplatten)	51
18	Altholzsortierung im Rahmen der Sperrmüllsortierung	56
19.1 – 19.5	Holzproben (folierte (beschichtete) Spanplatten)	58-60
20.1 – 20.3	Holzproben (gestrichenes Vollholz bzw. Sperrholz)	60-61
21	Altholzsortierung im Rahmen der Sperrmüllsortierung	62
22	Kunststoffsartierung im Rahmen der Sperrmüllsortierung	62
23	Kunststofffragmente aus einer Sammlung im Pressfahrzeug	66
24	Nahezu unbeschädigte Kunststoffe aus gewerblichem Sperrmüll	67
25	Schematische Darstellung der Vorgehensweise innerhalb des experimentellen Teils	68
26	Liste 1 zur Kunststoffsartierung in verwertbare und nicht verwertbare Fraktionen; die grün gefärbten Produkte eignen sich für ein werkstoffliches Recycling ( (Labots, 2015))	69
27	Liste 2 zur Kunststoffsartierung in verwertbare und nicht verwertbare Fraktionen (Quelle: mtm plastics GmbH)	69
28	Ergebnis der manuellen Sortierung von Hartkunststoffe aus einer getrennten Sperrmüllsammlung; links: Gutfraktion; recht: Schlechtfraktion	70
29	Handhabung des NIR-Analysators	70
30	PE-Spektrum im Vergleich mit hinterlegtem Referenzspektrum für PE; der rot markierte Bereich weist auf den Korrelationskoeffizienten hin; das rote Spektrum stellt das der Probe dar; das schwarze Spektrum zeigt die Referenz	71
31	Ergebnisse aus der Analyse mittels NIR-Messsystem (kommunaler Bereich)	71
32	Vorzerkleinerung; links: Aufsicht auf das Schneidwerk; rechts: zerkleinertes Material (Korngröße etwa 10- 15 cm)	72
33	Waschen (links) und Trocknen (rechts) der Kunststoffe	72
34	Nachzerkleinerung der Kunststoffe; links: verwendeter Granulator; rechts: Kunststoffgranulat (Korngröße etwa 3-5 mm)	72
35	Verbundkonstruktionen zur Vorzerkleinerung	82
36	Metallverbund (Elektronik)	82
37	Polsterverbund	82
38	Freigeschlagenes Kunststoffobjekt – hier Kunststoff (PE)	83
39	Freigeschlagenes Metallobjekt – hier Metall mit Holzrestanhaftung	83
40	Freigeschlagenes Metallobjekt – hier Metall (Konstruktionselement Möbel) mit PUR-Schaumrestanhaftung	83
41	Zerkleinerte Polsterfederstrukturen– hier Metall (Konstruktionselement Polstermöbel) Nestbildung mit Anhaftungen	83
42	Freigeschlagenes Metallobjekt aus Edelstahl (n.n.) – hier ohne Anhaftungen	83

43	Grobstückiger PUR – Schaum – hier PUR-Schaum (Konstruktionselement Polstermöbel), Sichtung auf Sortierfähigkeit	83
44	Zerkleinerte Taschenfederstrukturen – hier Metall (Konstruktionselement Taschenfedern) mit textilen Anhaftungen	84
45	„Sortierbaum“ - Gezielte Sortierung von getrennt erfasstem Sperrmüll einschließlich gezielter Sortierung von Stoffströmen aus Zerkleinerungsversuchen	85
46	„Sortierbaum“ - Gezielte Sortierung von getrennt erfasstem Sperrmüll einschließlich gezielter Sortierung von Stoffströmen aus Zerkleinerungsversuchen	86
47	„Sortierbaum“ - Gezielte Sortierung von getrennt erfasstem Sperrmüll einschließlich gezielter Sortierung von Stoffströmen aus Zerkleinerungsversuchen	87
48	Blick in die Anlage Wiefels	88
49	Sortierung und Verwertung von Sperrmüll aus dem EKOCity-Verbund	91
50	Basisanlage – Alternative I (AI)	94
51	Ausbauanlage – Alternative II (AII)	95
52	Ausbauanlage – Alternative III (AIII)	96
53	Zusammenhänge zwischen Investition, Betriebskosten und Durchsatz (log-Darstellung)	98
54	Matratzensortierung	101
55	Matratzenkonstruktionsmaterialien nach Matratzenzerlegung	102
56	Unterschiedliche Matratzenschäume	102
57	Kunststofferkennung mittels Handmessgerät	103
58	Fourier-Transform-Infrarot-spektrometer (FTIR)	103
59	Getestete Schäume und ein Polyurethan aus der Datenbank der Hochschule (Beispiel)	103
60	Natur-Latex– „Kunst“-Latex-Proben von einem Matratzenhersteller als Vergleichsprobe	104
61	Zerlege-Apparatur	104
62	Demontage Boxspringbett	105
63	PUR Aufbereitungsanlage H & S Anlagentechnik GmbH, Sulingen, (copyright DBU)	107
64	PUR Aufbereitungsanlage H & S Anlagentechnik GmbH, Sulingen (copyright DBU)	107
65	Satellitensystem PUR-Logistik	108

## Einleitung

### 1 Vorbemerkung

Steigende Energie- und Rohstoffkosten infolge Rohstoffverknappung, Ressourcen-spekulation und steigenden Erstellungskosten sowie nationale und internationale Umweltziele fördern die Anreize zur Entwicklung einer effizienten Kreislaufwirtschaft.

### 2 Einleitung

Achtlos –als „Müll“ - weggeworfene Gegenstände beinhalten „schlummernde“ Werte, die es zu heben gilt. Alles hat einen Nutzwert, ob als Material, Energieträger, Werkstoff oder zur Weiternutzung /-verwendung. Ziel der Kreislaufwirtschaft ist dabei, eine hohe Materialeffizienz zu erreichen.

Die folgende Tabelle 1 zeigt, dass Materialeffizienz gleichzeitig auch Energieeffizienz bedeuten kann. Für die beispielhaft dargestellten Stoffgruppen ist in Bezug auf durchschnittliche und branchenübliche Altstoffeinsätze die sogenannte „Graue Energie“ (in den Werkstoffen enthaltene und beim Sekundärrohstoffeinsatz genutzte Speicherenergie → Energieeffizienz des Recyclingprozesses) dargestellt.

<b>Stoffgruppe</b>	<b>Energieeinsatz Primärrohstoff zu Rohmaterial</b>	<b>Energieeinsatz Sekundärrohstoff zu Rohmaterial %</b>	<b>„Graue Energie“ ~ Gespeicherte Energie %</b>	<b>Bemerkung</b>
<b>Aluminium</b>	<b>100</b>	<b>~ 5</b>	<b>~ 95</b>	<b>100% Sekundär- Alu-Einsatz/Mg Produkt</b>
<b>Glas</b>	<b>100</b>	<b>~ 80</b>	<b>~ 20</b>	<b>65 % Altglas- einsatz/Mg Pro- dukt</b>
<b>Papier</b>	<b>100</b>	<b>~ 45</b>	<b>~ 55</b>	<b>100 % Sekundär- Fasereinsatz/Mg Produkt</b>

**Tabelle 1: Energieeffizienz am Beispiel der Stoffgruppen Aluminium, Glas & Papier**

Sperrmüll ist ein wesentlicher Bestandteil des Abfallaufkommens. Das vorliegende und in der Folge dargestellte F & E-Vorhaben ist beantragt worden, um das Wissen über die Stoffströme aus Sperrmüll den Ansprüchen der Kreislaufwirtschaft anzupassen und damit die Möglichkeiten zur werkstofflichen Verwertung zu verbessern sowie in Abhängigkeit von definierten Sortier- und Aufbereitungsverfahren die Verwertungsquote zu erhöhen. Dabei ist die Übertragbarkeit der Sortierchargen auf Dritte und die sich notwendig anschließenden Aufbereitungs- und Verwertungswege sicher zu stellen.

### 3 Zusammenfassung

Das Thema Rohstoffverknappung ist durch den Konsum von Waren und Gütern geprägt. Die aus dem Konsum entstehenden Abfälle sind das Potential der Sekundärrohstoffgewinnung.

Ansätze des F&E-Vorhabens „Rohstoffquelle Sperrmüll“ zeigen auf, dass z. B. die Verwertung der Nichtholzfraktion des kommunalen Sperrmülls bundesweit von ca. 220 TMg/a auf ca. 600 TMg/a gesteigert werden kann und damit ein positives  $\Delta$  von bis zu 400 TMg/a zu erzielen ist.

Die OAG analysiert dabei die nachhaltige stoffliche Verwertung von Sperrmüll unterschiedlicher Herkunft.

Folgende Aspekte wurden beachtet:

- Sortierung nach Stoffgruppen
- Beschaffenheit der Stoffe
- mögliche Verwertungswege
- eigene Aufbereitungsmöglichkeiten und Verknüpfungen zu den Anforderungen Dritter
- Vorbereitung für anschließende Aufbereitungsschritte Dritter

Erste Erfahrungen zeigen auf, dass durch die systematische Auseinandersetzung mit einzelnen Produkten und zugehörigen Stoffgruppen sich differenziertere Sekundärrohstoffquellen erschließen lassen. Damit lässt sich u. a. die bisherige weniger qualifizierte energetische Verwertung reduzieren.

Durch die gezielte Aufbereitung auch von Verbundmaterialien aus dem Sperrmüll lässt sich die werkstoffliche wie auch die energetische Verwertung qualitativ verbessern.

#### **4 Beteiligte am Projekt Sperrmüll und sperrmüllartige Abfälle**

Fachlich ist die Qualität des Projektes abgesichert, da es als Gemeinschaftsprojekt angelegt ist.

Beteiligt sind:

- die Hochschule Osnabrück - Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik in der wiss. Begleitung ,
- der Landkreis Osnabrück (Entsorgungspflichtige Gebietskörperschaft) als öffentlich-rechtliche Gebietskörperschaft mit Zugang zum Stoffstrom (Entsorgungspflicht) und Satzungsgestaltung, vertreten durch die landkreiseigene Abfallwirtschaft Landkreis Osnabrück GmbH – AWIGO - , verantwortlich für die Organisation der Logistik und den Bürgerkontakt (Auftragsannahme, Beratung),
- die in der Sortierung operativ agierenden Osnabrücker Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH (OAG) als privatwirtschaftliches Unternehmen.

Die OAG hat die Planung und Organisation des F&E-Vorhabens initiiert und verantwortlich dessen operative Umsetzung übernommen. Die OAG bot gleichzeitig den Zugang zu Gewerbe & Industrie und damit dem gewerblichen Sperrmüll.

## Hauptteil

### 5 Sperrmüll und sperrmüllartige Abfälle

Das Thema Rohstoffverknappung ist u. A. durch den Konsum von Waren und Gütern geprägt, deren stoffliche Wiederverwertung weder vorbereitet noch organisiert ist.

Gerade beim Sperrmüll – sowohl aus Gewerbe als auch aus Haushaltungen - trifft dieses zu, zumal die Produkte, die dem Sperrmüll zugeordnet werden, häufig aus Verbundmaterialien oder Materialien im Verbund bestehen. Dieses erschwert eine stoffliche Verwertung.

#### 5.1 Status der sperrmüllartigen Abfälle

Kommunaler Sperrmüll z. B. entspricht in seiner jährlichen Masse (stat. Bundesamt 2014) von ca. 2.350.000 Mg/a den zur Zeit heiß diskutierten Leichtstoffverpackungsmassen (LVP), die über den „Gelben Sack“ entsorgt werden und als wichtiges Potential zur Sekundärrohstoffgewinnung gelten. Im Bereich der Kunststoffe haben bisher alle Bemühungen zur zielgerichteten Sortierung in herkömmlichen Sortier- und Aufbereitungsanlagen nicht den angestrebten Erfolg erbracht, um eine höherwertige werkstoffliche Verwertung zu erreichen. Gleiches gilt für Verbunde, vor allem aus Kunststoffen, Textilien, Schaumstoffen, Naturlatex, Metallen und weiteren Materialien.

Das folgende Bild 1 zeigt den Status Quo kommunaler Sperrmüllbewirtschaftung.

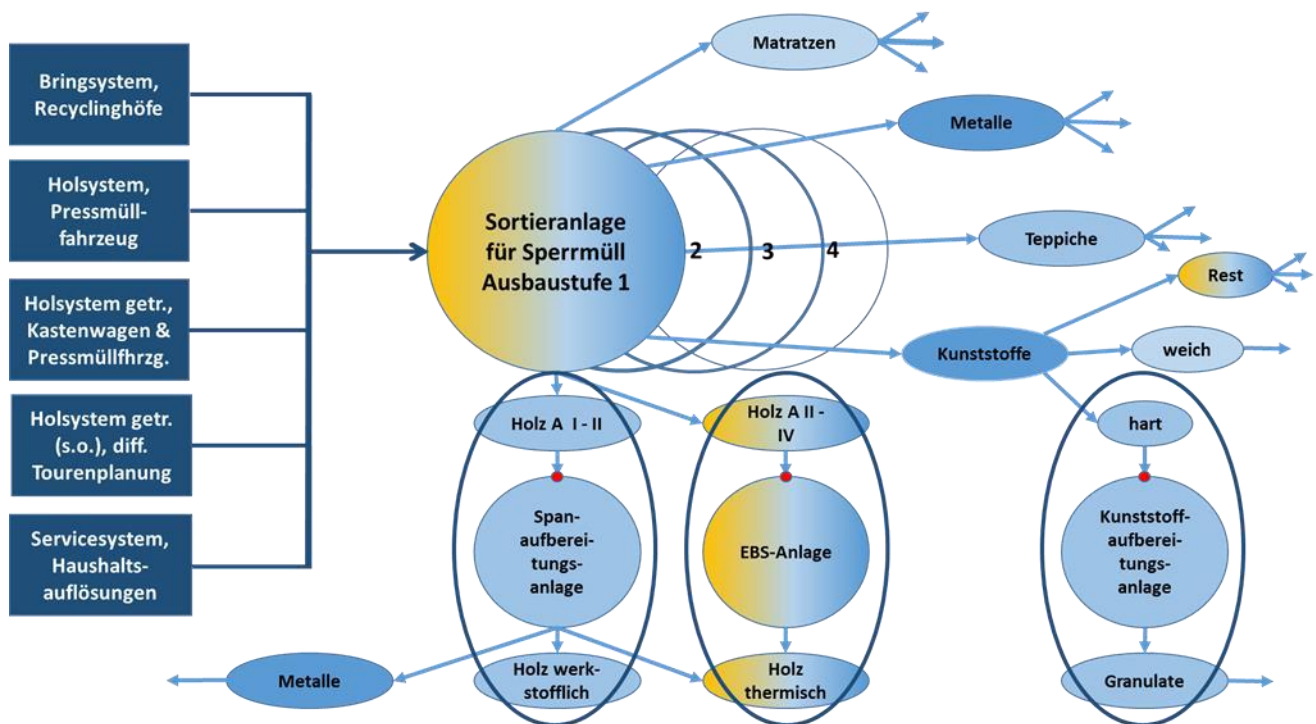


Bild 1: Status Quo Sperrmüllbewirtschaftung kommunal

#### 5.2 Ansätze für das F&E-Vorhaben

Die OAG befasst sich nicht nur mit der „Rohstoffquelle“ Sperrmüll allgemein, sondern wird im Rahmen ihres Projektes an Hand der Untersuchung von Teilströmen wie z.B. Matratzen, Teppiche,

Textilien und Hartkunststoffe die gezielte und nachhaltige stoffliche Verwertung ausgewählter Wertstoffe aus dem Stoffstrom Sperrmüll weiter entwickeln und die Übertragbarkeit der entwickelten Methoden aufzuzeigen.

Es sollen dabei Werkstoffe zurückgewonnen, die in vergleichbaren Produkten eingesetzt oder neuen Verwertungsmöglichkeiten zugeführt werden; überbetriebliche Stoffkreisläufe werden mit dem Ziel geschlossen, bei der Verwertung ein Downcycling zu vermeiden.

Dabei sind folgende Rahmenbedingungen zu beachten:

- Sortierung nach Stoffgruppen
- Beschaffenheit der Stoffe
- Mögliche Verwertungswege
- Eigene Aufbereitungsmöglichkeiten und Verknüpfungen zu den Anforderungen Dritter
- Vorbereitung der folgenden Aufbereitungsschritte Dritter und deren Qualitätskriterien.

## **6 Qualitätskriterien**

Basis für die Vermarktung von Recycling-Materialien sind Qualitätskriterien für Sekundärrohstoffe. Diese Qualitätskriterien lassen sich nur durch eine intensive Abstimmung hinsichtlich der Möglichkeiten von Sortierern, Aufbereitern und der Sekundärrohstoff-einsetzenden Industrie formulieren und umsetzen; damit sind Markteingangsvoraussetzungen geschaffen, die Sekundärrohstoffe zu einem marktfähigen Produkt machen.

Um den Ansprüchen der einsetzenden Industrie zu genügen müssen Sortierer und Aufbereiter die gewonnenen Stoffströme regelmäßig, den individuellen Vorgaben entsprechend, untersuchen. Diese Qualitätskontrolle ist von Sortier- zu Aufbereitungsstufe vorzunehmen. Ebenfalls ist die Qualität durch die aufnehmende Industrie zu überwachen.

Wesentliche Anforderungen an den Umgang mit Sekundärrohstoffen sind in der Gesamtheit:

- Notwendige Genehmigungsverfahren zur Sortierung und Aufbereitung von Abfällen zu Rest- und Sekundärrohstoffen
- Schadstoff- und Emissionsverhalten (Boden, Wasser, Luft) in Sortier-, Aufbereitungs- und Einsatzstufen
- Mögliche notwendige Genehmigungsverfahren zum Einsatz von Rest- und Sekundärrohstoffen
- Berücksichtigung umweltrechtlicher Produkt-Aspekte (u. U. REACH) bei Einsatz in der Industrie
- Qualitätskriterien und Qualitätskontrolle
- Handlungsvorgaben bei Qualitätsschwankungen und Verunreinigungen
- An Bedarf angepasster Vertragsrahmen
- Langfristige, qualitativ wie auch saisonal gesicherte Verfügbarkeit
- Abgestimmte Lager- und Lieferlogistik
- Preisstabilität auch bei Weltmarktschwankungen für Primärrohstoffe

Die Qualitätskriterien sind die Hauptkriterien einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft. Sie beziehen sich auf die zu erstellenden Produkte, den Schutz der Produktionsanlagen und die Umweltbedingungen der Produktion (siehe nachfolgende Tabelle 2).

<b>Ansatz</b>	<b>Begründung</b>	<b>Bemerkung</b>
<b>Produktqualität</b>	Marktanforderungen, Garantien, rechtliche Verpflichtungen	Zusätzliche Qualitätskontrolle zur Ausschussvermeidung in relevanten Schritten
<b>Schutz von Produktionsanlagen</b>	Verschmutzungen von Produktionsanlagen, Erosion in Anlagen, Korrosion von Anlagen	Zusätzliche Filter- und Reinigungsanlagen bezogen auf Materialstrom
<b>Emissionsschutz</b>	Verschmutzung von Wasser, Boden, Luft	Zusätzliche Filter- und Reinigungsanlagen bezogen auf Emissionen

**Tabelle 2: Qualitätsfragen**

Beispielhaft können, bezogen auf die werkstoffliche Verwertung von Altholz aus Sperrmüll zur Herstellung von Holzwerkstoffen, die Grenzwerte für Holzhackschnitzel und Holzspäne aus dem Anhang 2 zu § 3Abs. 1 AltholzV (1) genannt werden (siehe folgende Tabelle 3:)

Spalte 1	Spalte 2
<b>Element/Verbindung</b>	<b>Grenzwerte Deutschland (Milligramm je Kilogramm Trockenmasse)</b>
<b>Arsen</b>	2
<b>Blei</b>	30
<b>Cadmium</b>	2
<b>Chrom</b>	30
<b>Kupfer</b>	20
<b>Quecksilber</b>	0,4
<b>Chlor</b>	600
<b>Fluor</b>	100
<b>Pentachlorphenol</b>	3
<b>Polychlorierte Biphenyle</b>	5

**Tabelle 3: Anhang 2 zu § 3Abs. 1 AltholzV, Grenzwerte Deutschland**

Für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen (EBS) aus Sperrmüll, beispielhaft in der Zementindustrie, gelten Qualitätskriterien, die sich auf die o. a. Hauptkriterien beziehen.

Folgende Anforderungen werden in der Praxis von einem Zementhersteller aus NRW an die festen Sekundärbrennstoffe gestellt (Unternehmensinterna ohne Quellenerlaubnis):

- Die Stückgröße darf 20 mm nicht überschreiten.
- Die Materialbeschaffenheit soll folienartig und flugfähig sein.
- Das Material muss frei von Störstoffen (Metall, Steinen oder Holz) sein.
- Das Material darf nicht zum Verkleben neigen.
- Die festen Sekundärbrennstoffe müssen frei von polychlorierten Dibenzodioxinen und Furanen sein.
- Der Heizwert (trocken) muss  $22.000 \pm 2.000$  kJ/kg betragen.
- Abfallschlüsselnummern gemäß Positivliste

- Deklaration gemäß Formblatt „Deklarationsanalyse“ Anlage 1 zur Nachweisverordnung entsprechend Mustergenehmigung Leitfaden NRW Nr. 3.2

Die folgende Tabelle 4: gibt die Grenzwerte für das zitierte Zementwerk an.

Genehmigte Praxis- und Maximalwerte			
Element	Einheit	Praxiswerte	Maximalwerte
Wasser	M.-%	7 *	12 *
Chlor gesamt	M.-%	0,4*	0,8
Schwefel gesamt	M.-%	0	0,4
Cadmium	ppm	4	9
Thallium	ppm	1	2
Quecksilber	ppm	0,6	1,2
Antimon	ppm	50	120
Arsen	ppm	5	13
Blei ppm	ppm	130	300
Chrom	ppm	85	185
Kobalt	ppm	6	12
Kupfer	ppm	235	500
Mangan	ppm	150	300
Nickel	ppm	50	100
Vanadium	ppm	10	25
Zinn	ppm	30	70
* interne Anforderung			

**Tabelle 4: Grenzwerte Ersatzbrennstoff Zementwerk**

Das folgende Bild 2 zeigt exemplarisch die angesprochenen Verknüpfungen im Lifecycle zwischen Sortierung, Aufbereitung und Verwertung für das Thema Kunststoffe bezogen auf die Qualitätskriterien der Beteiligten an Recyclingprozessen.

### Lifecycle des Kunststoffes nach Erstgebrauch



## **Bild 2: Schnittstellen Qualitätskriterien – Beispiel Hartkunststoffe**

Absicht des Projektes ist es, Ergebnisse zu erzielen, die als Empfehlung auf die Gesamtheit der Entsorgungs- und Kreislaufwirtschaftsbranche übertragbar sind.

Allein für die Bereiche Holz und Metalle liegen bereits umfangreiche Erkenntnisse zum Thema vor. Allerdings lassen sich regional und entsprechend der Erfassungssysteme noch Verbesserungen und eine Steigerung der Verwertungsquote für diese Materialien erzielen.

Mit dem vorliegenden Vorhaben werden für gewerblichen und kommunalen Sperrmüll Verfahrenswege präsentiert, welche:

- sich vom gegenwärtigen Stand von Forschung und Technik abgrenzen,
- Modellcharakter haben und Multiplikationseffekte erschließen,
- den Beteiligten an der Verwertungsline gerecht werden und dabei organisatorische und ablauftechnische Anpassungsmöglichkeiten (Verträge, Satzungen, Abläufe in den einzelnen operativen Phasen, etc.) bieten,
- sich zeitnah nach marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten umsetzen lassen,
- Umweltentlastungspotentiale erschließen und sichern,
- letztlich die Entwicklung und Beschreibung hochwertiger Entsorgungs- und Verwertungsprozesse für Sperrmüll zum Ziel haben.

Zielsetzung des F & E-Vorhabens ist - Wege zur Erhöhung der Werkstoffausbeute unter Berücksichtigung der geforderten Qualitätskriterien zu finden, um damit die Verwertungsquote in Abhängigkeit von definierten Sortier- und Aufbereitungsverfahren zu erhöhen. Die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf Dritte Betreiber von Sperrmüllaktivitäten und die sich anschließenden Verwertungswege der gewonnenen Stoffströme ist sicher zu stellen.

## **7 Rechtsgrundlagen**

Auf Basis der Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Union (RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie –2008/98/EG) vom 19. November 2008, ABl. EG L 312 S. 3, zuletzt geändert am 10. Juli 2015, ABl. EU L 184 S. 13) (Artikel 4, Absatz1) und als Kernelement des KrWG (§ 6) (2) gilt die fünfstufige Abfallhierarchie in folgende Rangfolge für den Umgang mit Abfällen.

- Vermeidung,
- Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- Recycling,
- sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
- Beseitigung.

Sperrmüll bietet ein ideales Beispiel für die Abfallhierarchie.

- Die Vermeidung - kann durch den Bürger beispielhaft durch eine zeitlose Einrichtung, reparierbare, hochwertige technische Geräte und einen sorgfältigen, schonenden Umgang mit diesen unterstützt werden.
- Die Wiederverwendung - z. B . nach Vorbereitung (Reinigung, Reparatur und Aufarbeitung) über private Verkäufe oder Sozialkaufhäuser - ist sowohl bei Möbeln wie auch technischen Haushaltsgeräten ein funktionierender Ansatz.

- Das Recycling - als werkstofflicher Verwertungsansatz - ist der klassische Ansatz der Kreislaufwirtschaft.
- Die werkstoffliche und die thermische Altholzverwertung werden als gleichwertig angesehen und über die Qualität sowie werkstoffliche Verwertbarkeit entsprechend der verbindlichen Altholzklassen gesteuert.
- Die Beseitigung (Deponierung) - ist für mineralische oder mineralisierte Reststoffe - soweit keine Verwertungsmöglichkeit für diese besteht – angezeigt.

Auf dieser Basis gelten die weiteren Rechtsvorgaben, die im Folgenden zitiert sind.

Der § 17 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) (2) „verpflichtet Erzeuger oder Besitzer von Abfällen aus privaten Haushaltungen, definierte Abfälle den nach Landesrecht zur Entsorgung verpflichteten juristischen Personen (öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger) zu überlassen.

*„Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sind verantwortlich, die Siedlungsabfälle aus privaten Haushaltungen und Abfälle zur Beseitigung aus anderen Herkunftsbereichen zu verwerten oder zu beseitigen“ (§ 20 KrWG)“.*

Damit ergibt sich rechtlich die Zuständigkeit der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger für die Entsorgung *„sperriger, nicht tonnengängiger Abfälle“* – dem Sperrmüll.

Die ordnungsrechtliche Umsetzung der Zuständigkeit ergibt sich nach Landesrecht, die operative Umsetzung entsprechend der Abfallsatzungen.

Die eigenständige Organisation der Entsorgung im gewerblich/industriellen Bereich ergibt sich aus dem Anwendungsbereich (§ 1) der Gewerbeabfall VO.

- *„Die Verordnung gilt für die Verwertung und die Beseitigung:*
  - 1. von gewerblichen Siedlungsabfällen,*
  - 2. von Bau- und Abbruchabfälle und*
  - 3. von weiteren Abfällen (im Anhang aufgeführt)*
- *Die Verordnung gilt im Wesentlichen für:*
  - 1. Erzeuger und Besitzer von gewerblichen Siedlungsabfällen, von Bau- und Abbruchabfällen und von weiteren Abfällen (im Anhang aufgeführt)*
  - 2. Betreiber von Vorbehandlungsanlagen, in denen gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle, in § 8 Abs. 4 Satz 1 Nr. 1 aufgeführte gemischte Bau- und Abbruchabfälle oder weitere Abfälle, die im Anhang aufgeführt sind, vorbehandelt werden.*
- *Diese Verordnung gilt nicht für Abfälle, die einem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger im Rahmen der Überlassungspflicht nach § 17 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes überlassen worden sind“.*

Der wettbewerbliche Marktdruck zu Innovationen in der Privatwirtschaft gilt für den gesamten Bereich der Warenherstellung, Distribution und den folgenden Gebrauchsangeboten. Die Kreislaufwirtschaft bietet für die Folgeprozesse dieser Kette wesentliche Beiträge, die ebenfalls einem Innovationszwang unterliegen.

Nur im Zusammenspiel zwischen der Produktverantwortung der Hersteller beim Produktdesign sowie der Wahl der Produktmaterialien (siehe Boxspringbetten, Kapitel ...) und dem Käuferverhalten bei der Entscheidung für recyclingfreundliche Produkte ergeben sich Ansätze für die Kreislaufwirtschaft.

Die Recyclingfähigkeit für Produkte wird nur im Zieldialog aller Beteiligten erreicht; diese sind:

- Gesetzliche Rahmenbedingungen
- die Produzenten
- der Handel
- die Käufer
- die Entsorger
- Aufbereiter / Verwerter
- die zugehörigen Verbände

Im § 23 des Gesetzes zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) sind deutliche Vorgaben zum Thema Produktverantwortung festgehalten:

*(1) „Wer Erzeugnisse entwickelt, herstellt, be- oder verarbeitet oder vertreibt, trägt zur Erfüllung der Ziele der Kreislaufwirtschaft die Produktverantwortung. Erzeugnisse sind möglichst so zu gestalten, dass bei ihrer Herstellung und ihrem Gebrauch das Entstehen von Abfällen vermindert wird und sichergestellt ist, dass die nach ihrem Gebrauch entstandenen Abfälle umweltverträglich verwertet oder beseitigt werden.*

*(2) Die Produktverantwortung umfasst insbesondere:*

- 1. die Entwicklung, die Herstellung und das Inverkehrbringen von Erzeugnissen, die mehrfach verwendbar, technisch langlebig und nach Gebrauch zur ordnungsgemäßen, schadlosen und hochwertigen Verwertung sowie zur umweltverträglichen Beseitigung geeignet sind,*
- 2. den vorrangigen Einsatz von verwertbaren Abfällen oder sekundären Rohstoffen bei der Herstellung von Erzeugnissen,*
- 3. die Kennzeichnung von schadstoffhaltigen Erzeugnissen, um sicherzustellen, dass die nach Gebrauch verbleibenden Abfälle umweltverträglich verwertet oder beseitigt werden,*
- 4. den Hinweis auf Rückgabe-, Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten oder -pflichten und Pfandregelungen durch Kennzeichnung der Erzeugnisse sowie*
- 5. die Rücknahme der Erzeugnisse und der nach Gebrauch der Erzeugnisse verbleibenden Abfälle sowie deren nachfolgende umweltverträgliche Verwertung oder Beseitigung.*

*(3) Im Rahmen der Produktverantwortung nach den Absätzen 1 und 2 sind neben der Verhältnismäßigkeit der Anforderungen entsprechend § 7 Absatz 4 die sich aus anderen Rechtsvorschriften ergebenden Regelungen zur Produktverantwortung und zum Schutz von Mensch und Umwelt sowie die Festlegungen des Gemeinschaftsrechts über den freien Warenverkehr zu berücksichtigen.*

*(4) Die Bundesregierung bestimmt durch Rechtsverordnungen auf Grund der §§ 24 und 25, welche Verpflichteten die Produktverantwortung nach den Absätzen 1 und 2 wahrzunehmen haben. Sie legt zugleich fest, für welche Erzeugnisse und in welcher Art und Weise die Produktverantwortung wahrzunehmen ist“.*

Der zitierte § 23 hat das dort gesetzte Ziel nicht erreicht, so dass eine funktionierende Kreislaufwirtschaft letztlich immer noch in der Verantwortung der Recyclingwirtschaft (Sortierer Aufbereiter und Sekundärrohstoff-einsetzende Industrie) liegt.

Wesentlich für die Umsetzung der o. a. Forderungen ist folgende Anmerkung aus der Abfallrahmenrichtlinie.

Auf Basis der Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Union, Absatz 28 ist zu berücksichtigen, dass die Richtlinie dazu beitragen soll, „die EU dem Ziel einer „Recycling -Gesellschaft“ näher zu bringen“.

- „Insbesondere werden in dem 6. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft Maßnahmen zur Sicherstellung der Getrennthaltung am Anfallort der Sammlung und des Recyclings vorrangiger Abfallströme gefordert“.
- „Im Einklang mit diesem Ziel und zur Erleichterung oder Verbesserung des Verwertungspotenzials von Abfällen sollten diese getrennt gesammelt werden, falls dies technisch, ökologisch und wirtschaftlich durchführbar ist, bevor sie Verwertungsverfahren unterzogen werden, die insgesamt das beste Ergebnis hinsichtlich des Umweltschutzes erbringen“.

Eine wesentliche Rechtsregelung für das Thema Sperrmüll ist das ELEKTRO- UND ELEKTRONIKGERÄTEGESETZ (ElektroG)(3), europäisch - **W**aste **E**lectrical and **E**lectronic **E**quipment - (WEEE). Dieser Rechtsbereich regelt u.a.:

- die getrennte Sammlung von EAG,
- deren Behandlung und Verwertung und
- die Sammelziele.

Nach dieser Rechtsregelung dürfen Abfälle, die durch den Rechtsbereich des ElektroG definiert werden, nicht mehr – wie früher oft üblich - gemischt mit dem Sperrmüll erfasst werden.

Die rechtliche Einordnung des kommunalen Sperrmülls nach Abfallschlüssel (4) ergibt sich zu:

- 20 Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen, hier Unterkategorie 20 03 07 Sperrmüll

Gewerbliche Abfallarten, die unter dem Begriff „sperrmüllähnlich“ zu fassen wären, sind den einzelnen relevanten Stoffgruppen und damit den zugehörigen Abfallschlüsseln zuzuordnen, beispielhaft:

- 20 01 37\* - Holz, das gefährliche Stoffe enthält
- 20 01 38 - Holz mit Ausnahme desjenigen, das unter 20 01 37 fällt
- 20 01 39 - Kunststoffe
- 20 01 40 - Metalle
- etc.

Den Graubereich zwischen öffentlich-rechtlichen und privatwirtschaftlichen Aktivitäten im Bereich der Sperrmüllfassung - auch aus Privathaushalten -, besonders über Wechselcontainer, erhellt ein Urteil des Verwaltungsgerichtes Berlin (5):

- Das Verbot der Berliner Umweltverwaltung gegen sechs private Entsorger, Sperrmüll aus privaten Haushalten zu sammeln, ist durch das Urteil des Verwaltungsgerichtes Berlin aufgehoben.
- Das Gericht hat festgestellt, dass bei einem jährlichen Massenaufkommen von ca. 52.800 Mg Sperrmüll in Berlin insgesamt lediglich etwa 8 % der Abfallmenge durch privatwirtschaftliche Unternehmen (in erster Linie über die Bereitstellung von Wechselcontainer, -mulden) gesammelt werden. Derzeit handelt es sich noch um ein schwebendes Verfahren, da noch keine höchstrichterliche Entscheidung dazu gefallen ist.

Neben dem gesetzlichen Regelwerk für die Erfassung und Behandlung von Abfällen gibt es auch im Rahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes Verordnungen für die Verwertung solcher. Für das Thema Sperrmüll ist die Altholzverordnung eine solche wichtige Regelung.

Nach § 1 findet die Verordnung ihren Anwendungsbereich (Geltungsbereich) für:

- die stoffliche Verwertung,
- die energetische Verwertung und
- die Beseitigung

von Altholz.

Altholz wird in der Verordnung in 4 verschiedene Kategorien eingeteilt, diese sind:

- Altholzkategorie A I: naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde,
- Altholzkategorie A II: verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel,
- Altholzkategorie A III: Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel,
- Altholzkategorie A IV: mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz.

Unter PCB-Altholz wird im Sinne der Verordnung verstanden:

- Altholz, das PCB im Sinne der PCB/PCT-Abfallverordnung ist und nach deren Vorschriften zu entsorgen ist. Das gilt insbesondere für Dämm- und Schallschutzplatten, die mit Mitteln behandelt wurden, die polychlorierte Biphenyle enthalten.

Altholz aus Sperrmüll wird der Altholzkategorie A III zugeordnet, hier sollten Anstrengungen unternommen werden eine höherwertigen Verwertung zu ermöglichen.

## **8 Aufkommen kommunaler und gewerblicher Sperrmüll**

### **8.1 Kommunalen Sperrmüll**

Die durchschnittlichen Massen an Sperrmüll werden in der Literatur undifferenziert mit 15 bis zu 50 kg/Ea incl. E & E-Schrott genannt. Bei einer Beraubungsrate des Sperrmülls (Entwendungsrate) von bis zu 80% (Sperrmüllsammlung im Rahmen von öffentlich bekannten Revierterminen) sind die Zahlen nur individuell zu werten.

Je differenzierter die Erfassungssystematik (getrennte Erfassung vor Ort, Recyclinghof-Anlieferung etc.) organisiert ist, desto schwieriger die Erfassung statistischer Daten.

Im Landkreis Osnabrück lässt sich das Sperrmüllaufkommen, welches der Sortierung zugeführt wird, abzüglich des E&E-Anteils auf ca. 33,3 kg/Ea (360 TE) berechnen.

Für den Durchschnitt der Bundesrepublik Deutschland ergibt sich aus der folgenden Tabelle 5 ein Wert von ca. 28,6 kg/Ea (82,2 Mio. E).

Statistisches Bundesamt Abfallarten	Aufkommen an Haushaltsabfällen	Aufkommen an Haushaltsabfällen je Einwohner
	1.000 Mg/Ea	kg/Ea
<b>2014</b>		
Haus- und Sperrmüll	15.518,10	191,00
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	13.170,60	162,00
<b>Sperrmüll</b>	<b>2.347,50</b>	<b>29,00</b>
Getrennt erfasste organische Abfälle	9.831,50	121,00
Abfälle aus der Biotonne	4.602,90	57,00
Biologisch abbaubare Abfälle (Garten-, Parkabfälle)	5.228,60	64,00
Getrennt gesammelte Wertstoffe	12.045,50	148,00
Glas	1.877,90	23,00
Gemisch. Wertst./Verpack.(inkl. Leichtvp.), Verbunde	<b>2.649,30</b>	<b>33,00</b>
Papier, Pappe, Karton (PPK)	5.809,00	72,00
Metalle	261,40	3,00
Holz	1.222,60	15,00
Kunststoffe	101,70	1,00
Textilien	123,70	2,00
Elektroaltgeräte	n.n.	n.n.
Sonstige Abfälle	158,80	2,00
Sonstige gefährliche Abfälle	51,60	1,00
Sonstige nicht gefährliche Abfälle	107,20	1,00
<b>Insgesamt</b>	<b>37.553,90</b>	<b>462,00</b>

Tabelle 5: Aufkommen an Haushaltsabfällen, Deutschland 2014 (6)

Nach KERN und SPRICK (7) stellte sich 2001 die Sperrmüllzusammensetzung bei Erfassung entsprechend der folgenden Tabelle 6 dar.

Erfassungsgruppe	Anteil in %
Holz, Möbel	42
Textilien	1
Mineralische Fraktion	3
sonstige Abfälle	15
Bio- und Grünabfälle	3
Papier, Karton	3
Glas	0,5
Metalle	10
Kunststoffe	4
Verbundstoffe	18,5
Summe	100

Tabelle 6: Sperrmüllzusammensetzung D 2001 bei Erfassung nach KERN und SPRICK (7)

Nach LAMPEL (8) und dem - mit ihm geführtem - Fachgespräch lässt sich die durchschnittliche Zusammensetzung von Sperrmüll und dessen Verwertung unabhängig von unterschiedlichen Bereitstellungs- und Erfassungssystemen wie in Tabelle 7 dargestellt, einschätzen.

Sortiergruppe	Anteil in %	Bemerkung zur Verwertung
<b>Altholz (45 – 60%)</b>	52,5	durch Hand- und Apparat-gestützte Sortierung gewonnener verwertbarer Fraktionsanteil (thermisch, werkstofflich)
<b>Nichteisenmetalle, (Elektro- &amp; Elektronikschrottanteil (Reste) nach getrennter Sammlung)</b>	0,5	zur werkstofflichen Verwertung
<b>Thermoplastische Kunststoffe (PE,PP, etc.)</b>	3,0	zur werkstofflichen Verwertung
<b>Papier, Pappe, Kartonagen (PPK)</b>	0,8	zur werkstofflichen Verwertung
<b>Matratzenschaum (PU, Latex)</b>	2,2	zur werkstofflichen Verwertung
<b>Federkernstahl, Eisenschrotte</b>	3,5	zur werkstofflichen Verwertung
<b>Verbundstoffe</b>	10,0	zur werkstofflichen Verwertung
<b>Niederkalorische Reste</b>	12,5	zur Verwertung in MVA
<b>Mittel- bis hochkalorische Reste, incl. Textilanteile aus Matratzenfraktion, Teppichen etc.</b>	15,0	zur Verwertung in EBS-Kraftwerk
<b>Summe</b>	100,0	

**Tabelle 7: Durchschnittliche Zusammensetzung von Sperrmüll und dessen Verwertung, Deutschland 2013 (LAMPEL (8))**

## **8.2 Gewerblicher Sperrmüll**

Zum Thema gewerblicher Sperrmüll lassen sich in der Literatur wenig relevanten Daten finden, da gewerbliche sperrige Abfälle aus rechtlichen Gründen immer den einzelnen relevanten Stoffgruppen und damit den zugehörigen Abfallschlüsseln (4) zugeordnet werden, nicht also dem Oberbegriff Sperrmüll - Abfallschlüssel 20 03 07 Sperrmüll.

Gewerbliche Abfallarten, die unter dem Begriff „sperrmüllähnlich“ zu fassen wären, sind - wie bereits angeführt - den einzelnen relevanten Stoffgruppen und damit den zugehörigen Abfallschlüsseln zuzuordnen, beispielhaft:

- 20 01 37\* - Holz, das gefährliche Stoffe enthält
- 20 01 38 - Holz mit Ausnahme desjenigen, das unter 20 01 37 fällt
- 20 01 39 - Kunststoffe
- 20 01 40 - Metalle
- etc.

## **9 Entsorgungsalternativen für kommunalen und gewerblichen Sperrmüll**

In der folgenden Tabelle 8 sind unterschiedliche Entsorgungs- respektive Verwertungswege aufgeführt. Die gewählte Alternative hängt jeweils sehr stark von den Strukturen der Entsorgungswege, vor allem aber auch vom vorhandenen Massenstrom ab. Je aufwendiger die gewählte Alternative, desto höher muss aus wirtschaftlichen Gründen der Massenstrom im Zufluss organisiert sein. Da der unvorbehandelte Sperrmüll keine wirtschaftlichen Transportgewichte zulässt, sind Verbunde von Entsorgungsregionen, deren Transportbedingungen nicht zu optimieren sind, nur schwer zu organisieren.

Im Rahmen des F&E-Vorhabens sind Anlagen, die die genannten Alternativen repräsentieren, besucht worden. Die Erfahrungen daraus werden im weiteren Verlauf des Berichtes diskutiert.

<b>Alternative</b>	<b>Entsorgungsweg</b>	<b>Ziel</b>
<b>Unsortiert</b>	Abgabe an Müllheizkraftwerke	Energiegewinnung
<b>Sortierung</b>	Baggersortierung, Zerkleinerung der gewonnenen Fraktionen, Metallscheidung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Holz =&gt; Produkt z. B. <b>EBS</b></li> <li>• Verbundstoffe =&gt; Produkte z. B. NE, Fe</li> </ul>	Höherwertige energetische Nutzung, werkstoffliche Verwertung
<b>Sortierung und Teilerlegung</b>	Baggersortierung mit händischer Sortierung, Matratzenzerlegung, Metallscheidung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matratzen</li> <li>• Kunststoffe</li> <li>• Holz</li> <li>• Textilien</li> <li>• Verbundstoffe</li> </ul> Produkte daraus: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altholz zur werkstofflichen Verwertung</li> <li>• EBS</li> <li>• Matratzen-Schäume, -Textilien, -Metalle</li> <li>• Altkunststoffe</li> <li>• Altmetalle</li> </ul>	Höherwertige energetische Nutzung, werkstoffliche Verwertung
<b>Sortierung, Teilerlegung und Zerkleinerung</b>	Baggersortierung mit händischer Sortierung, Matratzenzerlegung, Zerkleinerung der gewonnenen Fraktionen, Metallscheidung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matratzen</li> <li>• Kunststoffe</li> <li>• Holz</li> <li>• Textilien</li> <li>• Verbundstoffe</li> </ul> Produkte daraus: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altholz zur werkstofflichen Verwertung</li> <li>• EBS</li> <li>• Matratzen-Schäume, -Textilien, -Metalle</li> <li>• Altkunststoffe</li> <li>• Altmetalle</li> </ul>	Höherwertige energetische Nutzung, werkstoffliche Verwertung
<b>Sortierung, Teilerlegung, Zerkleinerung mit automatisierter Nachsortierung</b>	Baggersortierung mit Zerkleinerung, Siebung, evtl. händischer Sortierung, NIR-Sichtung NE-, Fe-Scheidung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matratzen</li> <li>• Kunststoffe</li> <li>• Holz</li> <li>• Textilien</li> <li>• Verbundstoffe</li> </ul> Produkte daraus: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altholz zur werkstofflichen Verwertung</li> <li>• Höherwertiger EBS</li> <li>• Matratzen-Schäume, -Textilien, -Metalle</li> <li>• Altkunststoffe</li> <li>• Altmetalle</li> </ul>	Höherwertige energetische Nutzung, werkstoffliche Verwertung

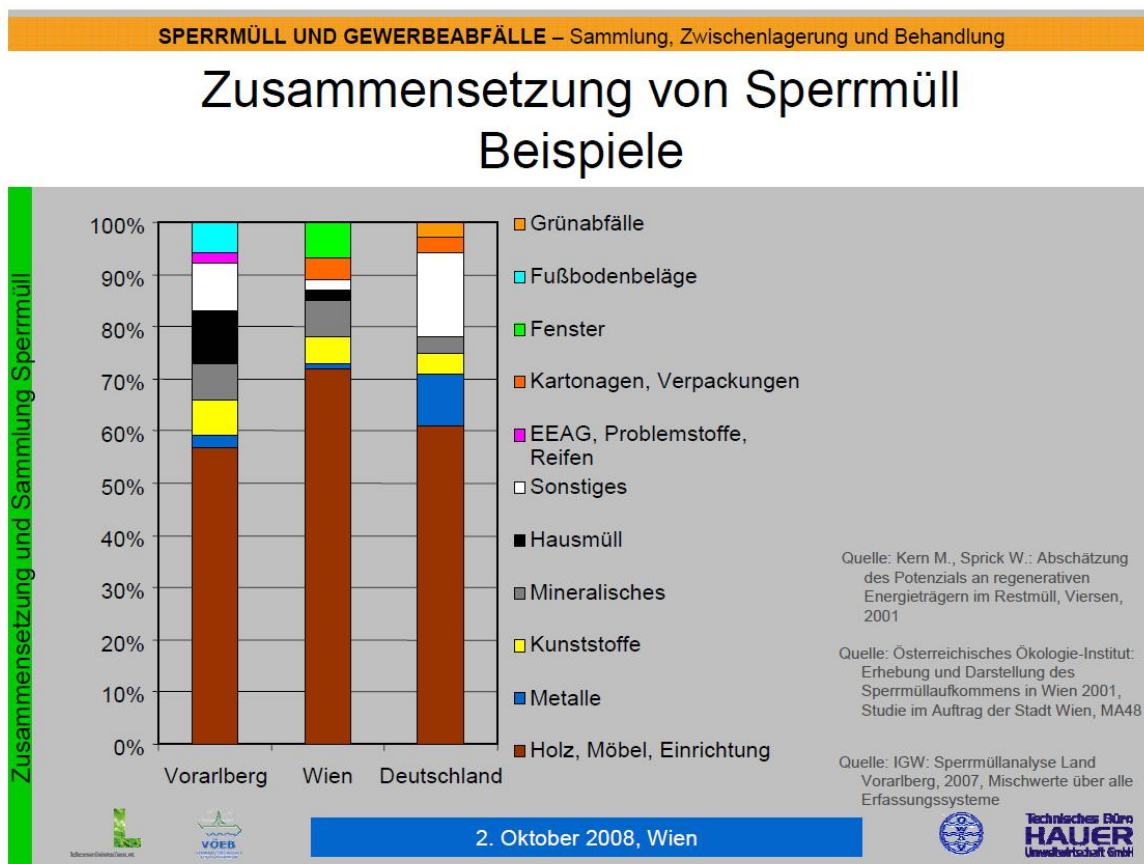
**Tabelle 8: Entsorgungs- respektive Verwertungswege**

**10 Literatur**

In der Literatur finden sich nur wenige wissenschaftliche Abhandlungen zum Thema Sperrmüll. Die Internetrecherche zum Thema erbrachte in erster Linie Veröffentlichungen von Entsorgungssatzungen, aber nur wenige Daten und Fakten zum Sperrmüll und dem Umgang (Behandlung, werkstoffliche Nutzung etc.) mit diesem selbst.

**10.1 Sperrmüllanalyse Wien 1999/2000**

Eine interessante Quelle ergab sich aus der Veröffentlichung „Sammlung und Behandlung von Sperr- und Gewerbemüll“ Analyse und Ausgangslage in Österreich.



**Bild 4: Erhebung und Darstellung des Sperrmüllaufkommens in Wien im Vergleich zu Deutschland und Vorarlberg (9)**

Zu erkennen ist, dass zum Beispiel auch Grün-, Bau- (Renovierungs-), Elektro- und sonstige Abfälle in der Statistik (Bild 4) erscheinen.

Interessant sind die Erfassungswerte der Recyclinghöfe, sogenannter Mistplätze (Tabelle 9), deutlich wird hier die Differenzierung der Erfassung und damit die gute Voraussetzung für eine Nachsortierung und Aufbereitung zur werkstofflichen Verwertung. Leider zeigt sich in der Folge (Tabelle 10), dass die mögliche Verwertungsquote nicht den gegebenen Chancen entspricht.

Analysefraktionen	MP Zwischenbrücken		MP Favoriten		MP Baumgarten		Gesamt	
	Masse-%	kg	Masse-%	kg	Masse-%	kg	Masse-%	kg
Matratzen	5,69	2.166	1,42	561	3,06	941	3,38	3.669
Teppiche	5,74	2.183	3,61	1.428	5,87	1.807	5,00	5.419
Teppichrollen					0,65	199	0,18	199
Möbel	8,36	3.183	5,24	2.074	5,70	1.756	6,47	7.013
Teerpappe	0,15	57					0,05	57
Sonstiges	4,02	1.530	0,14	54	0,91	280	1,72	1.864
Holz beschichtet/ lackiert	60,016	22.899	9,43	3.733	9,93	3.057	27,37	29.689
Gegenstände mit hohem Metallanteil	0,88	337	1,18	469	1,81	557	1,26	1.362
Vorbehandlung	0,11	44	0,23	91			0,12	134
E-Geräte	0,24	93	0,47	186	0,06	19	0,27	297
Bildschirmglas					0,01	5	0,00	5
Verbundglas	0,10	39	0,55	216	2,30	710	0,89	964
Fensterglas	0,90	344	4,16	1.649	6,28	1.933	3,62	3.962
<b>Summe Sperrmüll</b>	<b>86,37</b>	<b>32.874</b>	<b>26,42</b>	<b>10.461</b>	<b>36,57</b>	<b>11.263</b>	<b>50,34</b>	<b>54.597</b>
Baustellenabfälle	6,03	2.297	24,67	9.767	22,86	7.041	17,62	19.105
Biomaterial	0,34	130	0,32	127	0,38	117	0,34	373
VP-Material	0,45	171	2,82	1.115	2,08	642	1,78	1.928
Textilien	0,24	92	4,18	1.657	3,01	926	2,47	2.674
Restmüll	6,48	2.467	40,89	16.193	34,07	10.494	26,88	29.153
Problemstoffe	0,08	32	0,70	279	1,03	316	0,58	627
<b>Summe Restmüll</b>	<b>13,63</b>	<b>5.188</b>	<b>73,58</b>	<b>29.137</b>	<b>63,43</b>	<b>19.536</b>	<b>49,66</b>	<b>53.861</b>
<b>Summe Gesamt</b>	<b>100,00</b>	<b>38.062</b>	<b>100,00</b>	<b>39.598</b>	<b>100,00</b>	<b>30.799</b>	<b>100,00</b>	<b>108.458</b>

Tabelle 9: Ergebnisse der Sperrmüllsortieranalyse (Anlieferung auf Recyclinghöfen (wienerisch Mistplätze) 1999/2000 (Anteile in Massenprozent und kg) (10)

Sperrmüllfraktion	Mistplätze (Angaben in Volumen m <sup>3</sup> )					
	1020		1140		1100	
	wiederverwertbar		wiederverwertbar		wiederverwertbar	
	nein	ja	nein	ja	nein	ja
Einrichtungsgegenstände	68	15	92	7	96	4
Holz und Holzwerkstoffe	117	25	17	2	141	10
<b>Summe</b>	<b>184</b>	<b>40</b>	<b>109</b>	<b>9</b>	<b>237</b>	<b>14</b>
<b>Prozent</b>	<b>82 %</b>	<b>18 %</b>	<b>92 %</b>	<b>8 %</b>	<b>94 %</b>	<b>6 %</b>
<b>Summe (3 Mistplätze)</b>	<b>wiederverwertbar</b>					
	<b>nein</b>			<b>ja</b>		
	<b>530,9</b>			<b>62,9</b>		
<b>Prozent</b>	<b>89,4 %</b>			<b>10,6 %</b>		

Tabelle 10: Wiederverwendbare und nicht wiederverwendbare Sperrmüllfraktion (Einrichtungsgegenstände, Holz und Holzwerkstoffe) auf drei Wiener Recyclinghöfen (Mistplätzen) in m<sup>3</sup> (10)

**10.2 Sperrmüllanalyse 2010 im Großherzogtum Luxemburg (11)**

Auch die Sperrmüllanalyse 2010 im Großherzogtum Luxemburg (Tabelle 11) beinhaltet ein deutlich weiteres Spektrum an Fraktionen als definierte Sperrmüllfraktionen in Deutschland nach einer Endbehandlung.

Sichtungsfraktion		Sperrmüllzusammensetzung						Differenz (2009-2004)	
Lfd.Nr.	Bezeichnung	2004			2009				
Sp. 1	2	[kg/a] <sub>3</sub>	[kg/E.a] <sub>4</sub>	[Gew.-%] <sub>5</sub>	[kg/a] <sub>6</sub>	[kg/E.a] <sub>7</sub>	[Gew.-%] <sub>8</sub>	[kg/a] <sub>9</sub>	[kg/E.a] <sub>10</sub>
1	Papier/Pappe/Karton (ohne Tapeten)	57.717	0,13	0,98	65.352	0,132	1,65	7.635	0,01
2	Glas	20.158	0,04	0,34	13.520	0,027	0,34	-6.638	-0,02
3	Bioabfall (insb. Grünabfall/Restmüll)	23.598	0,05	0,40	1.039	0,002	0,03	-22.560	-0,05
4	Holz	2.015.694	4,43	34,37	1.458.604	2,956	36,85	-557.090	-1,47
5	Polstermöbel	1.597.427	3,51	27,24	862.560	1,748	21,79	-734.867	-1,76
6	Federbetten	7.096	0,02	0,12	7.364	0,015	0,19	268	0,00
7	Matratzen	485.748	1,07	8,28	258.677	0,524	6,54	-227.071	-0,54
8	EPS (Styropor) u.a.	15.136	0,03	0,26	2.227	0,005	0,06	-12.909	-0,03
9	Weitere Kunststoffe	197.500	0,43	3,37	130.130	0,264	3,29	-67.370	-0,17
10	Teppiche/Teppichböden	278.475	0,61	4,75	265.253	0,537	6,70	-13.221	-0,07
11	Weisse Ware (E-Geräte mit Metallgehäuse)	104.829	0,23	1,79	8.326	0,017	0,21	-96.504	-0,21
12	Braune Ware (E-Geräte mit sonst. Gehäuse)	88.239	0,19	1,50	49.746	0,101	1,26	-38.492	-0,09
13	Metalle (ohne weisse Ware)	52.876	0,12	0,90	18.235	0,037	0,46	-34.641	-0,08
14	Bauschutt/Inertstoffe (ohne Glas)	88.010	0,19	1,50	104.238	0,211	2,63	16.229	0,02
15	Bekleidung/Textilien	50.167	0,11	0,86	60.977	0,124	1,54	10.810	0,01
16	Hausabfall ("Restmüll")	24.279	0,05	0,41	28.372	0,057	0,72	4.094	0,00
17	Problemstoffe	81.535	0,18	1,39	9.987	0,020	0,25	-71.548	-0,16
18	Opt. nicht differenzierbare Abfälle	413.138	0,91	7,04	390.329	0,791	9,86	-22.809	-0,12
19	Rest (einschl. Tapeten)	262.962	0,58	4,48	222.899	0,452	5,63	-40.064	-0,13
Total		5.864.584	12,89	100,00	3.957.835	8,020	100,00	-1.906.749	-4,87

**Tabelle 11: Vergleich der geschätzten Sperrmüllzusammensetzungen 2004 und 2009 im GDL (endbehandelt) (11)**

**11 Satzung LK OS (12)**

Beispielhaft für eine der vielen Sperrmüllsatzungen bzw. der Teile von Abfallsatzungen, die das Thema Sperrmüll regeln, soll die Satzung des LK-Osnabrück (§ 10 Sperrmüll) herangezogen werden.

Die Vorgaben des Paragraphen 10 der Satzung (Bild 4) geben klare Handlungsanweisungen bezüglich der Positiv- und Negativeinordnung, der Bereitstellungsart, der Maß- und Gewichtsgrenzen, der Anmeldeformalitäten.

Die kommunalrechtlichen Vorgaben sind die Basis für die folgenden Aktivitäten in der Logistik, Sortierung, Aufbereitung, Verwertung, Behandlung und Beseitigung.

## Abfallsatzung des LK-Osnabrück, hier § 10 Sperrmüll

### § 10 Sperrmüll

(1)

Sperrmüll i. S. v. § 5 Abs. 1 e) sind Abfälle, die selbst nach einer zumutbaren Zerkleinerung wegen Sperrigkeit, ihres Gewichtes oder ihrer Materialbeschaffenheit nicht in die vom Landkreis zur Verfügung gestellten Entsorgungssatzung Abfallbehälter passen, diese beschädigen oder das Entleeren erschweren könnten. Dazu gehören beispielsweise: Möbelstücke, Matratzen, Teppiche, Kinderwagen oder Fahrräder.

(2)

Sperrmüll ist dem Landkreis bzw. der AWIGO zu überlassen. Er wird auf Antrag des Abfallbesitzers abgefahren. Der Antrag ist schriftlich oder mündlich bei der AWIGO zu stellen. Die AWIGO legt den Termin fest und gibt ihn dem Abfallbesitzer bekannt. Jeder Haushalt erhält höchstens vier Abholtermine je Kalenderjahr.

(3)

Sperrmüll ist getrennt nach Materialien (Holz, Metall usw.) bereitzustellen. Sperrmüll ist so zu stapeln, zu bündeln oder in sonstiger Weise zu ordnen, dass die Straße nicht verschmutzt wird und ein zügiges Verladen möglich ist. Die Einzelstücke dürfen höchstens ein Gewicht von 75 Kilogramm und eine Größe von 2,20 x 1,50 x 0,75 Meter haben. Die Gewichtsbeschränkung gilt nicht für Haushaltsgroßgeräte (z. B.: Waschmaschine, Elektroherd, Kühlgeräte, Geschirrspüler). Die Abfuhr des Sperrmülls umfasst nur die zulässigen Gegenstände, die im Zuge des Antrages bei der AWIGO angemeldet worden sind. Dabei darf der Umfang des Sperrmülls eine Menge von 1 Kubikmeter nicht unter - und von 6 Kubikmetern nicht überschreiten.

(4)

Haushaltsgroßgeräte sowie elektronische Großgeräte (z. B. Fernseher, PC) zählen ebenfalls zum Sperrmüll, sofern sie aus privaten Haushalten stammen. Sie sind jedoch gesondert bereitzustellen und werden auch getrennt vom übrigen Sperrmüll abgeholt. Die Haushaltsgroßgeräte und elektronischen Großgeräte müssen vollständig entleert zur Abfuhr bereitgestellt werden, andernfalls kann die Mitnahme verweigert werden.

(5)

Nicht zum Sperrmüll gehören:

- a) Gegenstände, die von Bau- oder Umbauarbeiten herrühren, wie z. B. Steine, Türen, Fenster, Holzgebälk, Ziegel, Fußleisten, Teppichboden, Laminat Deckvertäfelung
- b) Öltanks
- c) Kraftfahrzeugteile, Motorräder, Mopeds, Autowracks
- d) Gewerbliche Betriebsabfälle aller Art wie z. B. aus Fabriken, Werkstätten oder Gewerbebetrieben
- e) Sperrmüll aus anderen Herkunftsbereichen

(6)

Für zum Sperrmüll gehörende Abfälle, deren Umfang über den in Abs. 3 genannten hinausgeht, gelten § 3 Abs. 7 und § 17 entsprechend.

#### **Bild 4: Vorgaben des §en 10 der Abfallsatzung des LK-Osnabrück (12)**

### **12 Sperrmüllerfassung – Logistik**

Die Organisation der Abfallerfassung ist die Basis für zielgerichtete Kreislaufwirtschaftsaktivitäten. Die Entscheidung für ein Erfassungssystem berücksichtigt immer die Fragestellung nach Ökologie oder Ökonomie.

## 12.1 Systembeschreibungen

In der Fachliteratur, aber vor allem auch im Internet finden sich vielfältige Erfassungs- bzw. Logistiksysteme für die Sperrmüllfassung. Im kommunalen Bereich werden die Systeme noch von den kommunalen Entsorgungssatzungen differenziert und entwickelt. Fast alle entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaften geben auf ihren Internetseiten Vorgaben und bieten den Haushaltungen Begleitung für die Organisation der Bereitstellung des Sperrmülls an.

Die folgende Tabelle 12 gibt einen Überblick zu bevorzugten Erfassungssystemen im kommunalen aber teilweise auch privatwirtschaftlichen Angebot.

<b>Alternative</b>	<b>Organisationsformen:</b>	<b>Bemerkung</b>
<b>Bringsystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abgabe am Recyclinghof</li> <li>- Kundenorientierte Öffnungszeiten</li> <li>- Serviceleistungen durch Beratung &amp; Hilfestellungen</li> </ul>	Führt zu geringeren Quantitäten und hohen Qualitäten
<b>Holsystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Erfassung von E &amp; E-Schrott</li> </ul>	Verhindert Beraubung und führt zu höheren Qualitäten
<b>Holsystem, Terminabfuhr</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abholung ab Haushalt zum planmäßigen Termin (nach Jahres-Revierplanung)</li> </ul>	Führt zu Beraubungen und daraus folgend zu Verschmutzungen im Umfeld der Bereitstellung
<b>Holsystem auf Abruf</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abholung ab Haushalt auf Abruf, dabei: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnell- &amp; Wunschtermine an jedem Werktag</li> <li>- Zerlege-, Abhol- incl. Transportservice möglich</li> </ul> </li> </ul>	Verhindert Beraubung und führt zu höheren Qualitäten
<b>Holsystem, getrennte Erfassung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getrennte Erfassung von Holzobjekten, Verbundmaterial-Objekten und von E &amp; E-Schrott oder weiteren Varianten</li> </ul>	Verhindert Beraubung und führt zu hohen Qualitäten
<b>Holsystem, Terminabfuhr mit Service</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haushaltsauflösungen</li> </ul>	Ermöglicht die Wieder- und Weiterverwendung

**Tabelle 12: Bevorzugte Erfassungssysteme Sperrmüll**

Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der unterschiedlichen Erfassungssysteme hängen vom Servicegrad der gewählten Alternative ab. In der folgenden Tabelle 13 sind die wesentlichen wirtschaftlichen Aspekte der Erfassungssysteme dargestellt.

Alternative	Kostenfaktoren:	Bemerkung
<b>Bringsystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestaltung und Ausstattung der Recyclinghöfe</li> </ul>	Zweckmäßiger Ausbau, unterschiedliches Niveau – Anlieferung - Containerstandort, Personaleinsatz
<b>Holsystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fahrzeugeinsatz Gemischtsammlung (Pressfahrzeug)</li> </ul>	Fahrzeugbelastung Motor – Hydraulik – Räumwerk - Pressplatte
<b>Holsystem, getrennte Sammlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fahrzeugeinsatz Getrenntsammlung (Pressfahrzeug (/Pressfahrzeug)/Kastenwagen (/Kastenwagen))</li> </ul>	Zusatzkosten durch Fahrzeuge und Personal
<b>Holsystem, getrennte Sammlung, differenzierte Tourenplanung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tourenplanung (Terminabholung, auf Abruf, Getrennterfassung, gleichgerichtete - gegenläufige Erfassung)</li> </ul>	Zusatzkosten durch Fahrzeuge und Personal
<b>Haushaltsauflösungen etc.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wie Holsystem, getrennte Sammlung, aber Personaleinsatz in Abhängigkeit von Organisationsform hoch</li> </ul>	Kundenberatung, Kundenzufriedenheit, Materialqualität durch Beratung

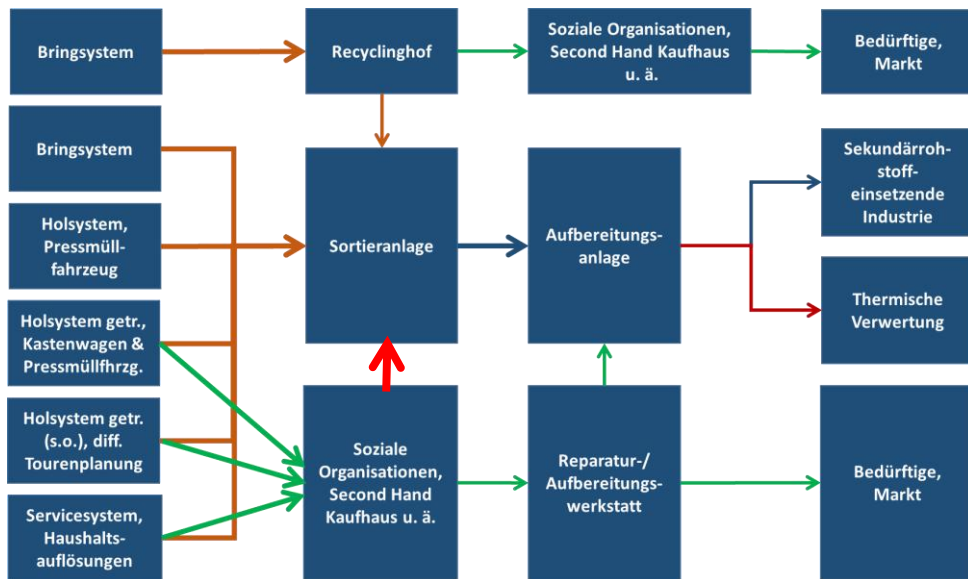
**Tabelle 13: Wirtschaftliche Aspekte der Erfassungssysteme**

Ärgerlich bis belastend wirkt sich das Berauben des Sperrmülls („Fleddern“ von Sperrmüll) auf alle legal an der Sperrmüllentsorgung Beteiligten wie auch die Außenanlagen der Entsorgungsreviere aus. Auch hier lassen sich Verbesserungsmöglichkeiten nennen, die in der Tabelle 14 zusammengestellt sind.

Alternative	Berauben des Sperrmülls verhindern:	Bemerkung
<b>Bringsystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abgabe am Recyclinghof</li> </ul>	Sicherung im gesamten Prozess
<b>Holsystem, getrennte Sammlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>E &amp; E-Schrott getrennt erfassen, dabei auch die folgenden Positionen beachten</li> </ul>	Ab Haushalt auf Abruf mit Stundenplanung der Abholung
<b>Holsystem auf Service-Abruf</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sperrmüll auf Abruf incl. Abhol-incl. Transportservice</li> </ul>	Ab Haushalt auf Abruf mit Stundenplanung der Abholung
<b>Holsystem auf Termin-Abruf</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sperrmüll auf Abruf mit Herausstellen unmittelbar vor geplantem Termin</li> </ul>	Ab Haushalt auf Abruf mit Stundenplanung der Abholung
<b>Diebstahlssicherung durch Rückverfolgungssysteme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tracen (GPS-Transponder) von ausgewählten Objekten, die begehrt für bestimmte „Interessanten“ erscheinen</li> <li>Urteil wem gehört der Sperrmüll =&gt; Verkehrssicherungspflicht</li> </ul>	Technisch mögliche, aufwendige Maßnahme, dient zur Abschreckung

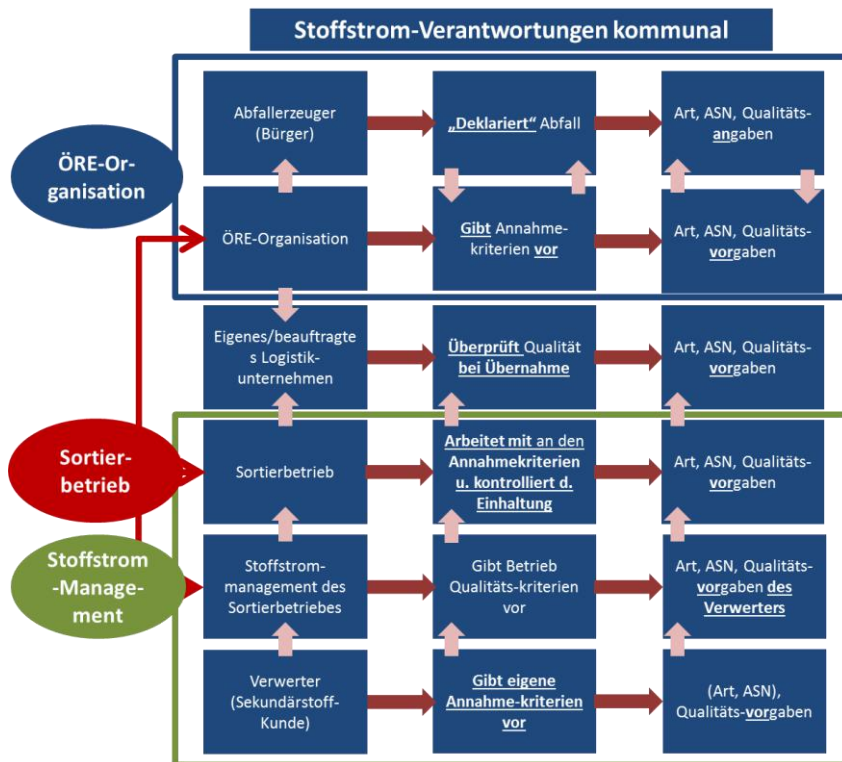
**Tabelle 14: Maßnahmen gegen das Berauben des Sperrmülls**

Das folgende Bild 5 stellt die Beziehungen von Sammellogistik, Sortierung, Aufbereitung und Verwertung dar. Um die notwendigen Prozesse aufeinander abzustimmen sind die Beziehungen der Prozesse zueinander zu definieren und aufeinander abzustimmen.



**Bild 5: Beziehungen Sammellogistik, Sortierung, Aufbereitung und Verwertung**

Zugehörig zu den Beziehungen der eigentlichen kreislaufwirtschaftlichen Aufgabenstellung sind weitere Beziehungen bezüglich rechtlich-organisatorischer Fragen zu beachten. Diese Zusammenhänge stellt das folgende Bild 6 dar.



**Bild 6: Beziehungen rechtlich-organisatorischer Fragen in der kommunalen Sperrmüllfassung**

## 12.2 Sperrmüllfassung im Untersuchungsgebiet Landkreis Osnabrück

Auf Basis der voran dargestellten Rahmenbedingungen erfolgt für die Bürger im Landkreis Osnabrück die Sperrmüllfassung, Sortierung, Behandlung und Verwertung.

## 12.3 Konventionelle Erfassung mit Pressmüllfahrzeugen

Von den Erzeugern im Landkreis Osnabrück wird der Sperrmüll zu vereinbarten Entsorgungsterminen bereitgestellt. Die Angaben der Erzeuger zur Masse des bereitgestellten Sperrmülls bestimmen die Tourenplanung für die Abholung.

Der Sperrmüll wird im Normalfall in Pressmüll - Sammelfahrzeuge verladen, verpresst, transportiert und im Sortierbetrieb entladen. E & E-Schrott wird in einem (begleitenden) Pritschenfahrzeug gesondert erfasst.

Die konventionelle Erfassung des Sperrmülls und die sich daran anschließende noch zu beschreibende Sortierung bilden die Basis der vorliegenden Untersuchungen.

Um eventuelle Differenzen „Nennung zu Bereitstellung“ zu erfassen, wurde als erste Untersuchung stichprobenartig eine Überprüfung von – bei der Anmeldung genannten Sperrmüllmassen zum entsorgten Sperrmüll – vorgenommen.

Die Befragungsauswertung der Differenzenbetrachtung - bereitgestellter zu entsorgtem Sperrmüll – ergab das folgend dargestellte Bild 7.

	09. Okt Bett	Matratze	Kleider/Wohnzimmer Sessel	2er Couch	3er Couch	Kommode	Teppich	Tisch	Stuhl	Küchenschränke	Gartenmöbel	Regal
Genannt	4	13	2	1	4	2	6	1	5	10	10	12
Vorhanden	3	10	2	1	4	2	3	3	6	10	12	15
18 und 20.11												
Genannt	10	18	14	5	3	2	14	14	10	26	23	22
Vorhanden	6	22	18	7	4	3	14	20	12	25	19	24

**Bild 7: Differenzenbetrachtung - bereitgestellter zu entsorgtem Sperrmüll**

Aus den Tourenbegleitungen im Rahmen des F&E-Vorhabens lassen sich erste Erfahrungen ableiten.

- Um den oft auftretenden Ärger bezüglich der Einordnung von sperrigen Bauabfällen in den Sperrmüll zu verhindern, müssen besonders privat getragene Bautätigkeiten (Renovierungen) mit gezielten Informationen in Systeme der getrennten Erfassung differenzierter Abfallfraktionen einbezogen werden.
- Die oft beobachtete, nicht satzungsgemäße Entsorgung von Restmüll oder anderen nicht satzungskonformen Abfällen über den Sperrmüll ist durch Kontrollen und die strikte Abnahmeverweigerungen bei der Sperrmüllsammlung zu verhindern. Eine verbesserte Informationsarbeit wird letztendlich dieses Problem nicht endgültig lösen und an der Unbelehrbarkeit mancher Bürger scheitern.
- Schadstoffhaltiger Sperrmüll, der reale Problemstoffe enthält wird oft mit dem Sperrmüll mitgesammelt, da eine Differenzierung für den Bürger und oft auch für Fachleute nicht eindeutig möglich ist. Dieses Problem ist nur in Zusammenhang mit Herstellern und Inverkehrbringern - Stichwort „Produktverantwortung“ - zu lösen. Eine notwendige Aufklärung durch

Hersteller, Handel und Abfallwirtschaft kann nur das Bewusstsein über die Problematik schärfen, nicht aber das Problem lösen. Erkannte Schadstoffe können in den meisten Fällen entsprechenden, sicheren Entsorgungswegen zugeführt werden.

## **12.4 Getrennte Erfassung mit Pressmüll- und Kastenfahrzeugen**

Die getrennte Erfassung mit Sperrmüll- und Kastenfahrzeugen in der Differenzierung nach unterschiedlichen Materialien und Materialstrukturen hat das Ziel Probleme, die sich durch die gemischte Erfassung in Pressmüllfahrzeugen ergeben, zu begrenzen.

Zur Verbesserung der Sammlung, insbesondere der Qualität des Sammlungsergebnisses und der werkstofflichen Verwertungsquote, wurden Versuchstouren mit Pressfahrzeugen und zusätzlichen Kastenwagen durchgeführt (Bilder 8 und 9).



**Bild 8: Blick in Kastenwagen (Sammelbehälter)    Bild 9: Kastenwagen - Anlieferung**

Durch die Erfassung und dem Transport in Kastenwagen (ca. 30 m<sup>3</sup> Rauminhalt) soll die Struktur der im Folgenden genannten Teile und Objekte erhalten bleiben.

- Kunststoffe
- Polstermöbel
- Verbundmaterialien
- Matratzen
- Teppiche

Folgende Bemerkungen zu den Materialien und Produkten sind die Grundlage für die weitergehenden Untersuchungen.

### **12.4.1 Kunststoffe**

- eventuell aufgebrachte Materialcodes, die durch die weitgehend zerstörungsfreie Sammlung noch lesbar sind, können zur weitergehenden Sortierung genutzt werden. Da die Objekte und Teilstücke nicht zerkleinert oder zersplittert werden und damit in den meisten Fällen eine Größe von > Din A4 haben, wird die Sortierung deutlich erleichtert. Auch der Einsatz eines Handhelds zur Sortenerkennung erscheint eher angezeigt. Insgesamt wird die Qualität der Sorten gesteigert. Sortierkriterien wie sie von deutschen oder auch niederländischen Verwertern vorgegeben werden - Produkt erkennen => heißt Material erkennen – lassen sich erfolgreicher anwenden.

#### **12.4.2 Polstermöbel**

- enthalten Holz, Textilien, Schaumstoffe sowie Metalle und werden regulär über die Baggersortierung der thermischen Verwertung zugeführt.
- Die nunmehr getrennt gesammelten Polstermöbel können mit Hilfe eines Schredders zerkleinert werden, um über den mechanischen Aufschluss auch maschinentechnisch sortierbare Materialströme zu erhalten. Eine händische Zerlegung ist wirtschaftlich nicht darstellbar. Ein einfaches Beispiel, die Zerlegung eines Boxspringbettes, die folgend noch dokumentiert ist, zeigt auf, wie aufwendig selbst bei einfachen Konstruktionsmerkmalen eine händische Zerlegung ist.

#### **12.4.3 Diverse Verbundstoffe**

- die Verbundstoffe (z.B. Gartenmöbel (Kettler - Metall-Kunststoff)) sollten zunächst der Kategorie zugeordnet werden, der sie von der Struktur und den Materialanteilen bevorzugt entsprechen.
- am Beispiel von Gartenmöbeln (Kettler - Metall-Kunststoff) ist zu erkennen, dass diese den Kunststoffen oder Metallen zugeordnet werden können. Um die gänzliche werkstoffliche Verwertung abzusichern sind die Bauteile in ihre Materialzugehörigkeit zu trennen. Die Trennung kann händisch oder mit einem Schredder vorgenommen werden.

#### **12.4.4 Matratzen**

- sollen zur Vermeidung von Verunreinigungen der Schaumstoffe vor allem durch Holz- oder Kunststoffsplitter, Kleinmetallteile und Öl, Fett sowie anderen Flüssigkeiten im Kastenwagen gesammelt werden.

#### **12.4.5 Textilien, Teppiche**

- erschweren die Baggersortierung und die anschließende händische bzw. maschinentechnische Sortierung und werden deshalb getrennt erfaßt.

Die weiteren Materialien - vor allem Holzstrukturen - wurden im Pressfahrzeug gesammelt.

Die differenzierte Getrennterfassung befindet sich z. Zt. in der Untersuchungsphase. Erste Getrennterfassungstouren wurden gefahren und im Ergebnis ausgewertet.

- Das Holsystem über die Sperrmüllabfuhr ist entsprechend der Ansprüche an die kreislaufwirtschaftliche Verantwortlichkeit der entsorgungspflichtigen Gebietskörperschaft und der gebührenrechtlichen Belastbarkeit der Bürger zu organisieren. Die getrennte Erfassung von Sperrmüllfraktionen hat unzweideutig große Vorteile für die gewünschten Kreislaufwirtschaftsziele, ist aber ob des benötigten Aufwandes sehr kostenintensiv.

### **13 Bring-Systeme zu Recyclinghöfen**

Für die Recyclinghöfe des Untersuchungsgebietes, die zur Sortieranlage der OAG Teilströme (Sperrmüll) liefern sowie für die Direktanlieferungen zur OAG liegen Erkenntnisse vor. Sie stellen sich wie folgt dar.

### 13.1 Zweckdienlich gestalteter Eingangsbereich

Schon durch die Gestaltung der Eingangsbereiche der Recyclinghöfe wird deren Funktion herausgehoben und gewährleistet. Diese Funktionen sind:

- Kontrolle, Kostenfestlegung/Bezahlung
- Einweisung, Beratung
- Verkauf von Kompost u. anderen Recyclingprodukten soweit verfügbar

### 13.2 Entladeebene mit Unterflurstandplätzen für $\leq 40 \text{ m}^3$ Container

Die Entladefläche zur Beschickung der Unterflur-aufgestellten  $\sim 40 \text{ m}^3$  Container und das Zick-Zack-Rastersystem der Container-Aufstellung entsprechen dem branchenüblichen Standard (Bild 10). Das gewählte System birgt aber Probleme, die im Weiteren erläutert werden.



Bild 10: Recyclinghof - Anlieferung

### 13.3 Sammelremise für E & E-Schrott, gefährliche Abfälle und Hartkunststoffe $\sim 40 \text{ m}^3$ Container

Die Sammelremise ist in ihrem Aufbau sachgerecht und befindet sich im unmittelbaren Kontrollbereich des Personals, welches dann auch sofort Hilfestellung bei Problemen geben kann.

### 13.4 Thema personelle Besetzung der Recyclinghöfe: - Anlieferer sich selbst überlassen -

Das „Selbstüberlassen“ der Anlieferer führt wie mehrfach beobachtet und von Mitarbeitern der Recyclinghöfe bestätigt, zu bewussten oder unbewussten Fehlwürfen, die sich auf die Qualität der Getrennthaltung und damit der späteren Sortierung deutlich negativ auswirken.

Die Idee, bei der Einweisung an der Eingangskontrolle auf die richtigen Entladestellen - u. A. gekennzeichnet durch aus dem Sperrmüll entnommene Stofftiere - hinzuweisen, erscheint zunächst originell, erreicht aber nicht immer seinen Zweck. Leider vergessen viele Menschen gegebene Anweisungen zu schnell oder haben sie nicht sofort verstanden. Besser geeignet wären:

- Detailliertere Hinweisschilder, mehrsprachig
- Piktogramme farbig gestaltet
- Farbige auf Pictogramme etc. abgestimmte Container
- Kontrolle und Hilfe vor Ort durch Einweiser

Ein allgemeines Thema auf Recyclinghöfen ist die personelle Besetzung der Recyclinghöfe. Die Frage lautet - Fehlwürfe „reparieren“ oder ausschalten! Die Nachsortierung durch Fach-Personal ist zwar eine Lösung, die Frage bleibt aber nach den Kosten dafür.

### **13.5 Zusammenfassung Recyclinghöfe**

Bei Recyclinghöfen ist der personelle Aufwand entscheidend für die Qualität der Getrennthaltung der vorgegebenen Stoffströme; Einweisung, Begleitung und Kontrolle der Anlieferer heben die Qualität der Stoffströme und damit die Chancen zur stofflichen Verwertung.

- Recyclinghöfe haben als Informationsmultiplikator eine große Bedeutung für die Organisation einer regional funktionierenden Abfallwirtschaft.
- Standorte zur Eröffnung neuer Recyclinghöfe, evtl. auch zur bewährten Teilzeitöffnung, sind zu überprüfen, da Recyclinghöfe von der Bevölkerung akzeptiert und in Anspruch genommen werden. Die Anzahl von Recyclinghöfen ist entsprechend der Bevölkerungsdichte und der Siedlungsstruktur zu organisieren; Anfahrtstrecken von bis zu 20 km werden z. B. im ländlichen Raum akzeptiert, da die Bevölkerung an solche Strecken für Verrichtungsfahrten gewöhnt ist.
- Der Bekanntheitsgrad der Recyclinghöfe ist durch gezielte Werbemaßnahmen zu erhöhen, diese Bemerkung bezieht sich vor allem auch auf Zuzugsbewegungen in den Einzugsgebieten der Höfe.
- Recyclinghöfe müssen im Hinblick auf eine bessere Vorsortierung differenziertere Sammelcontainer oder (überdachte, geschlossene) Sammelflächen vorhalten, da sich durch die kontinuierliche Verbesserung der Recyclingansätze die Qualitätsansprüche an die Stoffströme erhöht haben. Der Platzbedarf für die Entwicklung der Recyclinghöfe ist entsprechend einzuplanen.
- Recyclinghöfe beugen durch ihre Angebote der Vermüllung der Landschaft vor, deshalb ist ihre Attraktivität auf einem hohen Niveau zu halten.
- Die Besucherfrequenz von Recyclinghöfen hängt maßgeblich von deren Serviceangeboten ab, das schließt die Anfahrtstentfernung, die Öffnungszeiten, die sichere Befahrbarkeit des Recyclinghofes, die Ausstattung, die Beratung und die Hilfestellung durch das Personal etc. ein.
- Die Kostenstruktur von Recyclinghöfen hängt wiederum von der Besucher- und Anlieferungs-frequenz ab; je höher die (Nutzungs-) Anlieferungs-Frequenz desto geringer die Einheitsko-

sten (€/Mg Input). Durch die bessere Vorsortierung wird die Qualität der Werkstoffe erhöht und die Kosten für deren Output (Verwertung aber auch Behandlung & Beseitigung) gesenkt.

- Recyclinghöfe mit hoher Besucherfrequenz sollten im Hinblick auf eine bessere Vorsortierung personell gut ausgestattet sein. Hier kann entsprechend dem Personaleinsatz z. B. im Handel eine ähnliche Einsatzplanung für typische Spitzenanlieferzeiten beispielhaft sein (Personalstärke in Abhängigkeit von der Frequentierung, Kennzahl: MA/Anlieferer; z. B. 3 min/ Anlieferer oder MA/Entladestelle; z. B. 0,33).
- Eine eindeutig erläuternde Beschilderung, unterstützt durch Piktogramme ergänzen den Personaleinsatz sinnvoll.
- Durch die gezielte Öffentlichkeitsarbeit von Abfallberatungseinrichtungen zum Thema Sperrmüll kann eine verbesserte Informationsbasis zur differenzierteren Abgabe von einzelnen Sperrmüllfraktionen erreicht werden.
- Informationen zur Reparatur und zur Weiterverwendung von Möbeln, aber auch technischen Objekten z. B. aus dem Bereich Elektro und Elektronik sowie im Zusammenhang damit zu Institutionen, Firmen und interessierten Organisationen gehören zu einer modernen Abfallberatung und sollten entsprechend gepflegt werden.
- Für wiederverwendbare Gebrauchsgegenstände und deren Vermarktung sollte auf den Recyclinghöfen in Zusammenarbeit mit entsprechend engagierten Institutionen, Firmen und interessierten Organisationen ein System zur Bewertung und Prüfung und zur getrennten sicheren Lagerung organisiert werden.
- Bei Anlieferung an Recyclinghöfen kann schadstoffhaltiger Sperrmüll durch die Beratung von Fachpersonal ausgeschleust und einer sicheren Entsorgung zugeführt werden, dafür sollten die notwendigen Voraussetzungen vorgehalten (Schadstoffsammlung,) werden.
- Anreize wie Boni und Rabatte, die der Bürger als Belohnung für seine Aufwendung bei Nutzung des Bringsystems (Logistikkosten werden durch Bürger übernommen) erhält (Aufleben des SEROH-Gedankens, Gebührennachlässe) etc. können den Bürgerwillen zur besseren Sortierung fördern, dazu ist es notwendig ein entsprechend tragfähiges System zu fördern, welches sich bei den Gutschriften an möglichen Erträgen aus Wertstofflösen orientiert.

Als Beispiel kann ein Rabattmarkensystem in Südschweden dienen, bei der Anlieferung von Abfall an Recyclinghöfen erhält der Anlieferer dort Rabattnachweise in Form von „Wert-Coins“, die bei der Gebührenberechnung gutgeschrieben oder beim Kauf von Produkten in Geschäften eingelöst werden können (Hahnenkamp mdl. Mitteilung 2017(13)).

- Die Gesamtorganisation eines Recyclinghofes kann in Bezug auf den Betrieb rein wirtschaftlich oder bezogen auf eine hohe stoffliche Verwertungsquote, betrieben werden.

Die Frage **Ökologie versus Ökonomie** ist aber oft ausschlaggebend für die regionale Organisation der Recyclinghöfe und Abfallannahmestellen z. B. für gewerblichen Sperrmüll.

#### **14 Recycling - hier Wieder- bzw. Weiterverwendung - im Zusammenhang mit der Weiterverwendung von Objekten über caritative, aber auch ökonomisch orientierte Unternehmen**

Eine ökologisch aber auch sozial orientierte Sperrmüllverwertung ist die Wieder- bzw. Weiterverwendung von Objekten aus dem Sperrmüll. Ziel dabei ist, ein Warenangebot aus dem Sperrmüll zu

generieren; welches Angebote an brauchbaren Objekten an Möbeln, Hausrat, Textilien, aber auch Spielsachen, Fahrräder und weiteres beinhaltet.

Solche Projekte sind für Langzeitarbeitslose – zur Qualifizierung und Wiedereinführung in den Arbeitsmarkt - sozial aufgebaut; anstehende Arbeiten betreffen die Sortierung, die Aufbereitung und Vermarktung der Objekte. Auch die OAG ist aus diesem Ansatz heraus gegründet worden.

Die Weiterverwendung von Möbel ist der Mode unterworfen, auch selbst in einem hervorragenden Zustand befindliche Möbel finden nur in Abhängigkeit von der sozialen Lage der potentiellen Abnehmer einen Markt. Aus diesem Grund achten die Verwerter zur Weiterverwendung sehr genau auf Vollständigkeit, Beschädigungsfreiheit, Sauberkeit und Marktgängigkeit. Den möglichen Verkaufserlösen oder der Kostenübernahme durch soziale Trägerschaften stehen die Aufwendungen für Abholung, evtl. kleineren Reparaturen, Reinigung und Vermarktung bzw. Abgabe entgegen.

Möglichkeiten für die Erfassung und Verwertung von Büromöbel gehören ebenso zum Thema Weiterverwendung; das Stichwort Hersteller organisieren beim Erwerb neuer Büromöbel die Abholung der alten Bestände auch Ladeneinrichtungen etc. oder Eigentümer verkaufen diese.

Man muss sich fragen - wer will Spanplatte wenn er Vollholz zum gleichen Preis bekommen könnte?

In Frankreich gibt es ausgezeichnet laufende Märkte für Gebrauchtmöbel wenn diese handwerklich gut gemacht sind und sich in einem umzugsfähigen Konstruktionszustand befinden. In Deutschland ist ein nachhaltiger Preisverfall selbst bei Antiquitäten-Möbel zu verzeichnen. Viele Antiquitätenhändler geben auf, auf dem Markt haben selbst hochwertige neuzeitliche Möbel als Second-Hand-Möbel geringe Chancen.

#### **14.1 Beispiele für soziale Unternehmen**

Die MÖWE gGmbH (14) in Osnabrück ist als soziales (gemeinnütziges) Unternehmen zur Qualifizierung, Förderung, Beschäftigung gegründet und gliedert sich in zahlreiche unterschiedliche Arbeitsbereiche. Diese umfassen:

- Soziales Kaufhaus
- Fahrradläden
- Verwertung von Altmaterialien sowie
- verschiedene Dienstleistungen wie Gartenarbeiten, Malerarbeiten, Umzugshilfen und Wohnungsaufösungen

Eine weitere interessante Variante - Sperrmüll zur Weiterverwendung vorzuhalten – ist die Spielzeugbörse der AWIGO.

Das Second-Hand-Angebot von Recyclingbörsen beinhaltet neben einem besonders umfangreichen Möbelangebot oft auch Hausrat, Bücher, Fahrräder, Textilien & Kleidung, Elektrogeräte und in Eigenarbeit aufgearbeitete oder auch modernisierte Möbel (Redesign). Elektro-Altgeräte werden fachmännisch für die Second-Hand-Weiterverwendung überprüft und vorbereitet.

Soziale Dienste, die im Bereich der Sperrmüllweiterverwendung aktiv sind, müssen sich darüber im Klaren sein, dass falsch ausgewählte Objekte letztlich zu Ladenhüter werden und diese anschließend doch den konventioneller Entsorgungsweg gehen müssen; wichtige Voraussetzung für ein erfolgreiches Agieren ist die Möbelvorauswahl an deren Anfallstelle bezüglich Qualität und Gebrauchsfähigkeit.

Als Beispiel für ein erfolgreiches Rücknahmesystem gilt das französische Eco-Mobilier System (mdl. Erläuterung Lampel 2017 (8)).

## **14.2 Eco-Mobilier - Das französische Entsorgungssystem für Möbel (15)**

### **14.2.1 Gesetzliche Grundlage**

Die Durchführungsverordnung vom 6. Januar 2012 sieht ab dem 1. Mai 2013 eine erweiterte Herstellerverantwortung für Möbel und Möbelemente vor, die durch das Gesetz vom 12. Juli 2010 „Engagement national pour l’Environnement“ (Gesetz über das nationale Engagement für den Umweltschutz) initiiert wurde.

Ziel ist es bis Ende 2015 eine Recycling- und Wiederverwendungsquote für Haushaltsmöbel von 45% bzw. für professionelle Möbel von 75% und bis Ende 2016 eine Verwertungsquote von 80% zu erreichen.

### **14.2.2 Erstinverkehrbringer**

Hersteller im Sinne der französischen Verordnung ist der Erstinverkehrbringer, der als die Person, die zum ersten Mal einen Artikel mit französischer Mehrwertsteuer in Rechnung stellt, definiert ist. Eine Ausnahme stellt der Verkauf an einen Weiterverkäufer oder an einen Auftraggeber dar, der den Artikel unter seiner Marke verkauft.

### **14.2.3 Betroffene Möbel**

Laut Artikel R 543-240 des Umweltgesetzbuches sind sämtliche für die Haushalte bestimmte Einrichtungsgegenstände, die zu einer der zehn nachstehenden Kategorien gehören, betroffen. Eine Ausnahme bildet die Kategorie 4 bei der sowohl die in den Haushalten als auch die professionell genutzten Artikel zu melden sind:

1. Wohnzimmer-/ Esszimmermöbel
2. Beistellmöbel
3. Schlafzimmermöbel
4. Bettroste und Matratzen
5. Büromöbel
6. Küchenmöbel
7. Badezimmermöbel
8. Gartenmöbel
9. Sitzmöbel
10. Technische Möbel, Möbel für Geschäftseinrichtungen und Objektmöbel

### **14.2.4 Abgrenzung WEEE**

Wenn die Hauptfunktion eines Produktes eindeutig einem Möbelstück zuzuordnen ist und die elektrische Komponente im Regelfall nicht durch den Verbraucher selbst ersetzt wird, so fällt ausschließlich die Ecomobiliar-Gebühr an.

*Beispiel: elektrisches unterstützte Bettenroste, elektrische betriebene Massagesessel.*

Wenn die elektrische Komponente im Laufe der Lebensdauer des Produktes vom Verbraucher im Regelfall selbst ersetzt werden kann, so muss für das Produkt die Eco-mobiliar-Gebühr und eine WEEE-Entsorgungsgebühr entrichtet werden.

Beispiele:

- Badeschrank mit Beleuchtung => Eco-mobiliar und Recylum
- Wohnzimmereschrank mit Fernseher => Eco-mobiliar- und WEEE-Gebühr
- Küchenschrank mit elektrischem Backofen => Eco-mobiliar- und WEEE-Gebühr

#### **14.2.5 System**

Das System Eco-Mobiliar wurde von 24 Möbelherstellern und -händlern gegründet und hat seine Zulassung für den Zeitraum 1. Januar 2013 bis 31. Dezember 2017 erhalten.

#### **14.2.6 Eco-mobiliar Abrechnungsmodalitäten**

Die Eco-mobiliar-Gebühr basiert auf Stückzahl und Art der auf den Markt gebrachten Möbel.

Es werden drei Arten von Möbeln unterschieden - Sitzgelegenheiten, Schlafgelegenheiten und sonstige Möbel. Bei Sitz- und Schlafgelegenheiten hängt die Höhe der Eco-mobiliar-Gebühr von der Größe des Produktes ab. (z. B. ein Ein-/Zwei-/Dreisitzer, Bettrost bzw. Matratze < oder > 120cm).

Bei allen anderen Arten von Möbeln hängt die Höhe der Eco-mobiliar-Gebühr vom Gewicht ab.

Die Abrechnungsmodalitäten hängen in der Summe von der Umsatzhöhe ab:

- Jährliche Abrechnung (Umsatz zwischen 30.000 -300.000 Euro o. MwSt), wobei die Unternehmen zwischen einer realen bzw. Pauschalabrechnung wählen können
- Vierteljährliche Abrechnung (Umsatz > 300.000 Euro o. MwSt.): ausschließlich reale Abrechnung
- Pauschalbeitrag in Höhe von 300 Euro o. MwSt. (Umsatz unter 30.000 Euro o. MwSt)

#### **14.2.7 Pflichtausweis der Gebühr**

Die Eco-mobiliar-Gebühr ist unabhängig vom Verkaufspreis auszuweisen. Die Eco-mobiliar-Gebühr wird vom Hersteller/Importeur berechnet, zum Preis addiert und zusätzlich zum Produktpreis in Rechnung gestellt. Dies gilt für die gesamte Vertriebskette, vom Hersteller/Importeur bis zum Endkunden, wobei die Zusammensetzung des Preises für letzteren nachvollziehbar sein muss.

### **15 Gewerblicher Sperrmüll**

Gewerbe- und Industriebetriebe nutzen Sperrmüllentsorgungsangebote z. B. für Entrümpelungsaktionen in mannigfaltiger Art. Die Erfassung wird über Wechselcontainer oder Pressmüllfahrzeuge

(mit/ohne Umleercontainer) organisiert. Eine Anlieferung zu entsprechenden Wertstoffhöfen wird ebenfalls häufig genutzt.

Für komplette Entrümpelungen wie beispielhaft Büro-, Laden- und Betriebsauflösungen werden häufig Beratungen angeboten (Verkauf von Einrichtungsgegenständen und Maschinen an gleiches Gewerbe), die auch die Weiterverwendung von relevanten Objekten beinhalten, um nicht nur den Ansprüchen der Kreislaufwirtschaft zu genügen.

Prinzipiell gelten die gleichen Organisationsformen wie bei der kommunalen Sperrmüllentsorgung, dann aber in Trägerschaft privatwirtschaftlicher Unternehmen.

Es gibt keine allgemeinen verbindlichen Aufzeichnungen und damit keine statistischen Abgleiche zum kommunalen Aufgabenspektrum im Bereich Sperrmüll.

Gewerbliche sperrige Abfälle entsprechen häufig den regionalen Wirtschaftsstrukturen und sind damit höchst unterschiedlich in der Zusammensetzung und im Massenstrom.

Die Statistik der Abfallumschläge bei der OAG zeigt auf, dass ca. 48 % der jährlichen gewerblichen Anlieferungen als Sperrgut bezeichnet werden können; diese Massen stammen wesentlich im vorliegenden Fall aus der im Raum Osnabrück ansässigen Automobil-, Bau- und Metallindustrie, Firmenaufösungen resp. -umzügen, dem Speditionsgewerbe und der Lebensmittelindustrie, aber auch aus Wohnungsaufösungen.

Die getrennte Erfassung einzelner Abfallarten (auch Produktionsabfälle, siehe Bilder 11 - 14) am Entstehungsort folgt dem Vermengungsverbot und bildet die Basis für eine zielgerichtete, den Stoffeigenschaften entsprechenden Weiterbehandlung.

Die Sortierung der gewerblichen Sperrabfälle ergab beispielhaft für unterschiedliche Anlieferungen und Anlieferungsarten die in den Tabellen 15 und 16 dargestellten Ergebnisse.

<b>Sortierung Sperrmüll Gewerbe 2016</b>				
<b>Monat</b>	<b>Summe</b>	<b>Absetzkipper</b>	<b>Hakenlift</b>	<b>Eigenanlief.</b>
<b>Januar</b>	22,48	9,90	11,66	0,92
<b>Februar</b>	29,32	17,24	8,64	3,44
<b>März</b>	41,58	25,88	15,20	0,50
<b>April</b>	48,00	16,57	23,84	7,59
<b>Mai</b>	17,12	9,99	3,57	3,56
<b>Juni</b>	15,00	8,38	6,15	0,47
<b>Juli</b>	35,91	10,45	21,61	3,85
<b>August</b>	43,18	22,68	18,66	1,84
<b>September</b>	36,88	13,33	20,05	3,50
<b>Oktober</b>	31,51	9,31	18,01	4,19
<b>November</b>	29,29	12,24	15,24	1,81
<b>Dezember</b>	28,13	9,66	17,59	0,88
<b>Summen</b>	<b>378,40</b>	<b>165,63</b>	<b>180,22</b>	<b>32,55</b>

**Tabelle 15: Gewerbemüllsortierung 2016 oag – Massen**

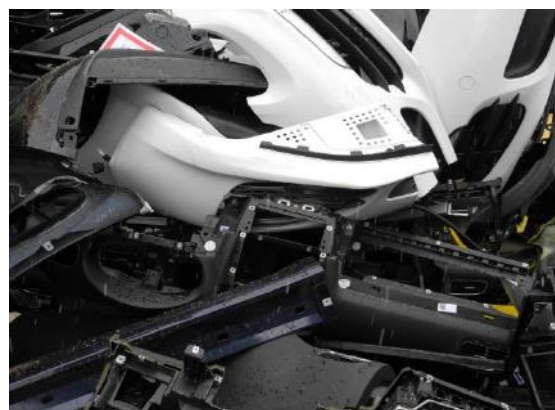
Stoffgruppe	Dim.	Anlieferung Ab- setzkipper	Anlieferung Ha- kenlift	Eigenanlieferung
<b>Sortiert 2016</b>	Mg	165,63	180,22	32,55
<b>Fe-Schrott</b>	%	3,7	4,2	1,9
<b>Alu</b>	%	1,6	1,8	0,9
<b>Buntmetalle</b>	%	2,1	1,2	0,6
<b>Glas</b>	%	4,9	2,8	0,5
<b>Holz</b>	%	68,0	59,7	46,8
<b>PVC</b>	%	7,3	4,6	2,6
<b>PE/PP/ABS</b>	%	2,6	6,8	8,6
<b>E &amp; E-Schrott</b>	%	1,7	12,2	1,3
<b>Restmüll</b>	%	16	10,4	24,2
<b>Summe</b>	%	100	100	100

**Tabelle 16: Gewerbemüllsortierung 2016 oag – Stoffanteile**

Gewerbliche sperrige Abfälle lassen sich im Prinzip sehr gut stoffgerecht getrennt erfassen und damit einer gezielten Verwertung zuführen. Voraussetzung dafür ist eine zweckbestimmte Zusammenarbeit von Abfallerzeuger und Entsorger, die am besten über den Entsorgungspreis oder Erlöse für werthaltige Abfälle zu steuern ist.



**Bild 11: Rohrabschnitte (Tiefbau)**



**Bild 12: Stoßfänger ABS Automobilindustrie**



**Bild 13: Sperrmüll, gewerbl. Auflösung (40 m<sup>3</sup> Cont.)** **Bild 14: „sortierende“ Entladung**

Zusammenfassend lässt sich für die gewerblichen Sperrmüllaktivitäten festhalten, dass es keine Regelentsorgungsstrukturen gibt, es werden aber durch die gezielte getrennte Erfassung oder einen entsprechenden Rückbau von Objekten hohe Qualitäten zur Verwertung bei den gewonnenen Stoffströmen erzielt.

## **16 Kosten der Sperrmüllerfassung**

### **16.1 Fahrzeugkosten**

Basis der folgenden Darstellungen (Tabellen 17 und 18) der Fahrzeugkosten sind reale Kalkulationen der Entsorgungswirtschaft auf Basis von Marktpreisen für Entsorgungsfahrzeuge, Treibstoffe, Ersatzteile, Hilfsstoffe und Tariflöhnen.

<b>Kostenarten</b>	<b>Rechenwert</b>	<b>Stundenkosten</b>
	€/a	€/Std.
<b>Fahrzeugkosten/Jahr gesamt</b>	78.724,18	33,93
<b>Gesamtpersonalkosten</b>	101.970,28	43,24
<b>Summe Einzelkosten Einsatzstunde</b>	180.694,46	76,63
<b>Verwaltung u. Betrieb</b>	22.586,81	9,58
<b>Unternehmerrisiko</b>	1.064,06	4,31
<b>Gesamtkosten</b>	213.445,33	90,52

**Tabelle 17: Kalkulation Sperrmüllsammelfahrzeug (3-Achs-LKW)**

<b>Kostenarten</b>	<b>Rechenwert</b>	<b>Stundenkosten</b>
	€/a	€/Std.
<b>Fahrzeugkosten/Jahr gesamt</b>	40.553,22	17,20
<b>Gesamtpersonalkosten</b>	98.332,97	41,70
<b>Summe Einzelkosten Einsatzstunde</b>	138.886,19	58,90
<b>Verwaltung u. Betrieb</b>	17.360,77	7,36
<b>Unternehmerrisiko</b>	7812,35	3,31
<b>Gesamtkosten</b>	164.059,31	69,58

**Tabelle 18: Kalkulation Kastenwagen**

Abhängig von Sammelorganisation, Fahrzeugeinsatz, Bevölkerungsdichte und Gebietsstruktur, möglich notwendigem Umschlag und Transportentfernungen ergeben sich die Sammelkosten für den Sperrmüll.

Eine weitere Variante der Sammelkosten ergibt sich aus dem Betrieb von Recyclinghöfen (Tabelle 19), deren Betriebskosten einerseits bezogen auf die erfassten Abfallmengen/Einwohner relativ hoch sind andererseits aber bessere Qualitäten der Stoffströme zur Sortierung (Nachsortierung) liefern. Ein Teil der Kosten wird durch die Anlieferungsaktivitäten der Bürger relativiert.

## 16.2 Kalkulation Recyclinghöfe

Jahresdurchsatz:				5.400 t	angeschlossen	60000	Bürger & Gewerbe
Nettoumsatz folgende Jahre:				810.000 €/a			Mg/a 1800 (Bürger) Mg/a 3600 (Gewerbe) Mg/a 5400 (Summe)
Zinssatz:	3,00 %			i = 0,03			
<b>Kapitalkosten (Annuitätenmethode)</b>							
Position / Bezeichnung		Investkosten	Nutzungsdauer	KWF	Jahreskosten		
(Berechnung siehe beiliegende Kostenschätzung)		€	Jahre		€/a		
1. Summe Bauinvestitionen:		1.500.000	20	0,067	100.824		
2. Summe Verfahrenstechnik:		20.000	10	0,117	2.345		Hoch- & Tiefbau
3. Summe Fahrzeuge/ mobiles Gerät:		200.000	10	0,117	23.446		div. Anbaugeräte
4. Summe Sonstiges:		64.000	6	0,185	11.814		je 1 Radlader, Stapler
5. Summe Planung, Gutachten, Baunebenkosten:		150.000	20	0,067	10.082		16 40 m³ Container alles
Gesamtsumme		1.934.000			148.511		
<b>1) Summe Kapitalkosten (Annuitätenmodell)</b>					148.511 €/a		
Summe G&V 4.00 Subunternehmeraufwand:				5.000	€/a		pauschal
Summe G&V 6.00 Rohstoffe, Abfallbeseitigung				324.000	€/a	60	€/MG
Summe G&V 7.00 Fahrzeuge, mobile Geräte:				30.000	€/a	4	wh/d
Summe G&V 9.00 Personal:				140.400	€/a	4	Mitarbeiter(Innen)
Summe G&V 11.00 Miete, Leasing:				20.000	€/a		Pacht etc.
Summe G&V 13.00: Sonstige Aufwendungen:				20.000	€/a		Versicherungen etc.
Summe G&V: V & V				80.910	€/a	15	%
<b>2) Summe Betriebskosten (Berechnung siehe beiliegende Kostenschätzung)</b>					620.310 €/a		
<b>3) Summe Selbstkosten</b>					768.821 €/a		
<b>4) Differenz: Umsatz ./ . Selbstkosten</b>					41.179 €/a		
<b>5) In Prozent vom Nettoumsatz</b>					5 %		
<b>Jahresdurchsatz:</b>				<b>Selbstkosten pro Tonne</b>			
Minimaler Jahresdurchsatz		5.040	t	152,54	€/t		
Mittlerer Jahresdurchsatz		5.600	t	137,29	€/t		
Maximaler Jahresdurchsatz		6.160	t	124,81	€/t		

**Tabelle 19: Kalkulationsschema Selbstkosten je Tonne**

Dieses Kalkulationsschema kann nur für Neubauten genutzt werden, nicht für Umbauten oder Erweiterungen (Recyclinghof ohne Bioabfallannahme).

## 16.3 Kostenstruktur kommunaler Sperrmüll

Die folgende Tabelle 20 fasst die Erfassungs-(Logistik-)kosten für Sperrmüll entsprechend der gewählten Erfassungssystematik zusammen.

Erfassungskosten Sperrmüll								
System	Art der Sammlung	Eingesetztes Gerät	Anzahl Pressmüll-fahrzeug	Anzahl Kasten-fahrzeuge	Stunden-kosten Pressmüll-fahrzeug	Stunden-kosten Kasten-fahrzeug	Erfassungs-leistung/h (System*)	Kosten/Mg
	-	-	-	-	€/h	€/h	Mg/h	€/Mg
							1,6	56,58
Holsystem	gemischt	Pressmüll-fahrzeug	1		90,52	69,58	1,4	64,66
							1,2	75,43
							1,85	86,54
	getrennt	Pressmüll-fahrzeug, Kasten-fahrzeug	1	1	90,52	69,58	1,65	97,03
							1,45	110,41
							2,1	109,37
	getrennt	Pressmüll-fahrzeug, Kasten-fahrzeug	1	2	90,52	139,16	1,9	120,88
							1,7	135,11
System	Art der Sammlung	Eingesetztes Gerät	Anzahl PKW	Recycling-hof	Kosten Eigen-transport	Kosten Recycling-hof	Erfassungs-leistung/h (System* <sup>3</sup> )	Kosten/Mg
	-	-	-	-	€/Mg* <sup>2</sup>	€/Mg	Mg/h	€/Mg
						152,54	2,2	43,17
Bürger Bring-system	Eigen-transport	PKW	1	1	160	137,29	2,45	27,92
						124,81	2,7	15,44

**Tabelle 20: Logistikkosten Sperrmüll**

Beim System Recyclinghof werden die Logistikkosten durch den Anlieferer übernommen, dagegen stehen die Kosten für die Investition und den Betrieb des Recyclinghofes. Die wirtschaftliche Entlastung des Recyclinghofes ergibt sich damit aus ersparten Logistikkosten. Mögliche Gutschriften für Einsparungen beim Holsystem z. B. 152,54 € (Kosten Recyclinghof) - 109,37 € (Logistikkosten) + Ø 10,00 € (Transportkosten zur Aufbereitungsanlage) = 53,17 € Mehr-Erfassungskosten Recyclinghof in Bezug auf ein aufwendiges Getrennterfassungs-Holsystem.

Durch eine qualitativ verbesserte Nachentsorgung - infolge hoher Trennschärfe von Materialströmen - sowohl in Richtung werkstofflicher wie auch thermischer Verwertung - können weitere Kosten erspart werden. Bei einem Jahresdurchsatz von ca. 5.000 Mg/a und einer anzunehmenden Verbesserung bei den Kosten durch geringere Entsorgungskosten bzw. verbesserte Werkstoffertlöse, ergibt sich z. B. für 10% der Jahresmenge und 40,00 €/Mg Ersparnis eine Reduzierung von 20.000 €/a. Damit ergibt sich der Ansatz, dass Mehrkosten durch die verbesserte Erfassung und die Erhöhung der Werkstoffqualität durchaus vertretbar sind.

### 16.4 Kostenstruktur gewerblicher Sperrmüll

Die Kosten für die Erfassung gewerblicher sperriger Abfälle entsprechen den vorab dargestellten Strukturen. Werden Absetz- oder Abrollkipper eingesetzt, so richten sich die Entsorgungskosten nach den individuell in Rechnung gestellten Leistungen wie Behälterzuführung, Behältermiete, An-, Abfuhrzeiten, Sortier-/Entsorgungskosten und evtl. Gebühren (Tabelle 21).

Positionen		Absetzkipper	Kosten (aktivitätsbezogen*)	Abrollkipper	Kosten (aktivitätsbezogen*)
			€		€
Behälterzuführung	€/h	55,00	<b>27,50</b>	65,00	<b>32,50</b>
Behältermiete	€/d	10,00	<b>20,00</b>	17,50	<b>35,00</b>
Behälterabholung	€/h	55,00	<b>27,50</b>	65,00	<b>32,50</b>
Sortier-/Entsorgungskosten	€/Mg	85,00	<b>212,50</b>	85,00	<b>340,00</b>
Gebühren	€/Mg	0,00	<b>0,00</b>	0,00	<b>0,00</b>
Summe	€		<b>287,50</b>		<b>440,00</b>
Summe	€/Mg		<b>115,00</b>		<b>110,00</b>

Tabelle 21: Kosten für die Erfassung und Entsorgung mit Absetz- oder Abrollkipper

\* Unter der Voraussetzung, dass sich die An- und Abfahrt zu je 30 min und die Abfallmenge im Fall des ASK's zu 2,5 Mg und des ARK's zu 4,0 Mg ergibt und die Behälter 2 Tage vorgehalten werden, ergeben sich die Kosten wie in Tabelle 21 dargestellt.

### 17 Sperrmüllsortierung

Die Sortierung von Sperrmüll richtet sich nach den Qualitätsansprüchen nachfolgender Aufbereiter oder Verwerter. Im Bild 15 sind die Schnittstellen bei der Sortierung (LK-Osnabrück) zu den nachfolgenden Verwertungs- bzw. Aufbereitungsschritten rot markiert.

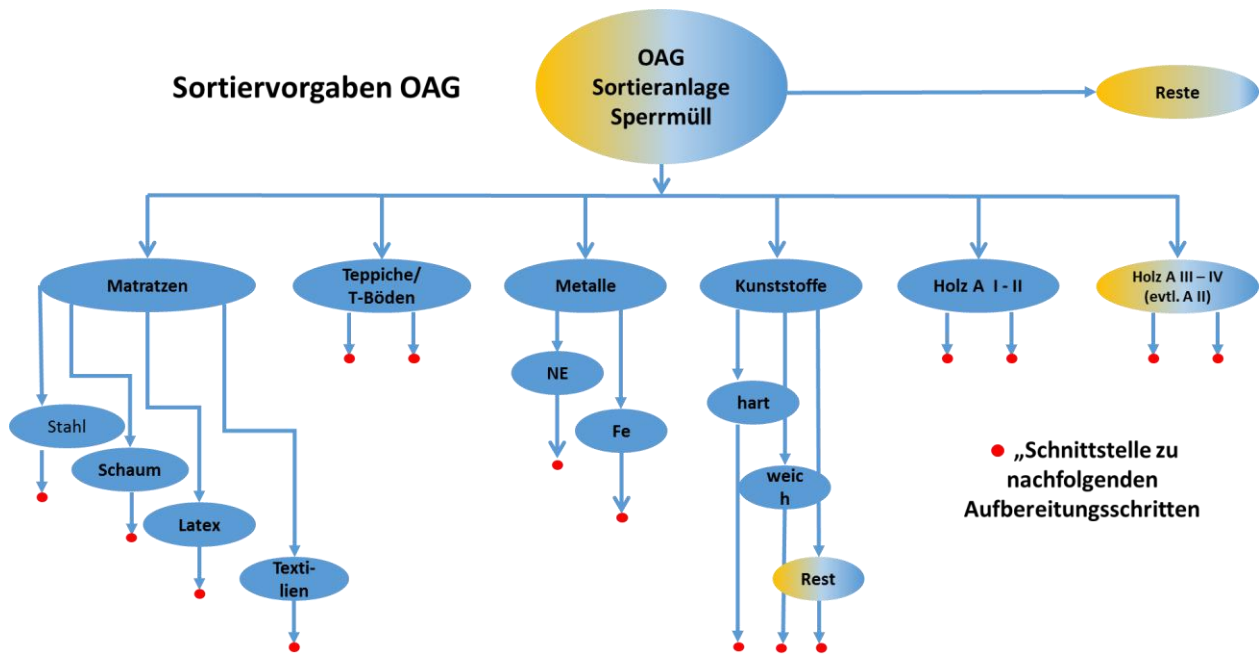


Bild 15: Abläufe Sperrmüllbehandlung

### **17.1 Beschreibung der Sortierung bei der oag**



**Bild 16: Anlieferung mit Pressmüllfahrzeug**

Das normal mit einem Pressmüllfahrzeug angelieferte Wertstoffgemisch (Bild 16) wird während und nach der Fahrzeugentladung auf Anteile untersucht, die nicht in den Sperrmüll gehören oder die Sicherheit der Anlage und der Mitarbeiter sowie deren Gesundheit beeinträchtigen könnten.

Privater Sperrmüll enthält einen hohen Anteil an Wert- und Substitutionsstoffen, die durch diverse Arbeitsvorgänge in der Sortieranlage erfasst und zur Abgabe zu den weiteren Verwertungswegen (werkstoffliche oder thermische Verwertung) zusammengestellt werden. Der Anteil der so gewonnenen Wertstoffe beträgt derzeit bis 70 % Prozent der Eingangsmenge. Durch die systematische Auseinandersetzung mit einzelnen Produkten und zugehörigen Stoffgruppen lassen sich höhere Potentiale für die werkstoffliche Verwertung erschließen.

Nach dem Abladen des Sperrmülls im Eingangslager werden Großteile wie zum Beispiel Metalle, Teppiche/Teppichböden und Matratzen sowie Verbunde per Bagger dem Gemenge entnommen und den Einzelfraktionen zugeführt. Das übrige Gemenge wird mit einem Bagger - nach Vorbrechen des Materials durch den Polypgreifer des Baggers - einer Bandsortieranlage zugeführt.

Über Transportbänder erreicht der Sperrmüll den ersten maschinellen Verarbeitungspunkt, einen Überbandmagneten. Das von Fe-Metallen entfrachtete Gemenge wird anschließend dem Sortierband übergeben, an dem geschulte Mitarbeiter die manuelle Sortierung der zugeführten Sperrmüllfraktion vornehmen.

Unter Berücksichtigung festgelegter Stoff- und Qualitätsmerkmale werden auf der Anlage aus dem zugeführten Materialgemisch für die Verwertung u.a. die folgenden Fraktionen gewonnen.

### **17.2 Einzelbetrachtung des Status Quo der Sortierung und deren Ergebnisse**

#### **17.2.1 Holz**

Das von holzfremden Großteilen entfrachtete Sperrmüllgemenge wird dem Sortierband zugeführt. Dort erfolgt eine manuelle Sortierung des Gemisches.

Nach Entnahme der abgreifbaren holzfremden Bestandteile werden Spanplatten > A4 entnommen und als Einzelfraktion gesondert erfasst.

Der auf dem Sortierband verbleibende Rest besteht aus Holz, in diversen Be- und Verarbeitungsqualitäten, z.T. mit stofffremden Anhaftungen und unterschiedlichen Kantenlängen bis hin zu freiem Span. Dieses Gemisch enthält zu einem geringen Teil holzfremde Bestandteile in kleinen Abmaßen, die prozessbedingt bei der verdichtenden Erfassung und der Baggerverarbeitung entstehen.

Die Spanplatten (Bild 17) werden unverarbeitet der Holzverarbeitenden Industrie zugeführt.

Das Holz aus dem Bandüberlauf geht ebenfalls zur Weiterverarbeitung durch Dritte. Die dort erzeugten Hackschnitzel bzw. Späne gehen in der energetische Verwertung.



**Bild 17: Baggergebrochene Holzfraktion (sortierte Spanplatten)**

Anfang der 2000er Jahre gab es Wege für ein stoffliches Recycling von Spanplatten. Nach einem Konzept der Firma Nolte wurden zwei Anlagen betrieben, die aus gebrauchten Spanplatten den losen Span zurückgewannen, um daraus wieder neue Spanplatten zu fertigen. Die Anlagen werden nicht mehr betrieben. Der Verwertungsmarkt ist infolge wirtschaftlicher Rahmenbedingungen als auch gestiegener Grenzwerte bezüglich zulässiger Verwertungskriterien deutlich eingeschränkt. Infolge dessen hat sich der Markt zu Lasten der werkstofflichen Verwertung hin zur energetischen Verwertung bewegt.

### **17.2.2 Metalle**

Große Metallteile, getrennt nach FE und NE, werden durch Baggersortierung dem angelieferten Gemenge entnommen und getrennt gelagert.

Das Metall, das dem Sortierband zugeführt wird, entfernt zum großen Teil der Überbandmagnet der Sortieranlage. Die restlichen auf dem Sortierband befindlichen FE-Metalle sowie NE-Metalle werden manuell durch Sortierkräfte abgegriffen und in bereitstehende Behälter sortiert.

FE-Metalle werden durch überregional agierende Metallhändler entsorgt. Die NE-Metalle gehen an den örtlichen Metallhandel.

Die aus der – später beschriebenen - Zerlegung von Matratzen anfallenden Federstähle werden als gesonderte Fraktion an den örtlichen Metallhandel abgegeben.

### **17.2.3 Kunststoffe**

Bei den im Sperrmüll enthaltenen Kunststoffen handelt es sich zumeist um Produkte aus Hartkunststoffen wie z. B. Kinderspielzeug, Gartenmobiliar, Gebrauchsgegenständen etc., die zum überwiegenden Teil als „Zusammenbauten - Verbundkonstruktionen“ verschiedener Materialien vorliegen. Die Teilstückbandbreite läuft von Ganzteilen – z. B. Bobbycars, Eimern etc. – bis hin zu Kleinteilen und Bruchstücken.

Die manuell dem Band entnommenen Kunststoffe werden über Sortierschächte in darunter stehende Großcontainer abgeworfen und nach Verpressen zu transportfähigen Ballen der werkstofflichen Verwertung zugeführt.

### **17.2.4 Teppiche**

Teppiche und Teppichböden liegen zumeist als „flächige“ Großteile vor und werden durch Baggersortierung dem angelieferten Gemenge entnommen und getrennt gelagert.

Das Material wird, gemeinsam mit den textilen Anteilen aus der – später beschriebenen - Matratzenzerlegung, in einer Anlage zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen genutzt.

Anfang der 2000er Jahre gab es Wege für ein stoffliches Recycling von Teppichen. Die Anlage der Firma Polyamid 2000 in Premnitz (bis 2004) verarbeitete Teppiche und Teppichböden und gewann das darin enthaltene Polyamid zurück. Die Anlage wurde nach der Insolvenz des Unternehmens nicht weiter betrieben. Demzufolge verbleibt es heute überwiegend bei der thermischen Verwertung über Ersatzbrennstoffe.

### **17.2.5 Textilien**

Nicht durch Baggersortierung entnommene textile Bestandteile des angelieferten Gemenges gehen nach manueller Entnahme vom Sortierband als Sortierrest in die thermische Verwertung.

Die Textilfraktion beinhaltet neben der textilen Ummantelung auch Vliese aus den inneren Schichten von Matratzenkörpern.

### **17.2.6 Matratzen**

Die im gesammelten Sperrmüll enthaltenen Matratzen machen volumenbezogen einen großen Anteil des Gemenges aus.

Nach Anlieferung durch die Sammelfahrzeuge werden Matratzen - mit Ausnahme der nicht recyclingfähigen - durch Baggersortierung dem angelieferten Gemenge entnommen und getrennt gelagert.

Die anschließende manuelle Verarbeitung der Matratzen hat die werkstoffliche Verwertung zum Ziel, dazu werden die Matratzen in ihre Bestandteile zerlegt.

- Die äußere Umhüllung sowie die enthaltenen Vlieseinlagen werden als Textilien dem Teppichhaufwerk zugeschlagen und letztlich durch Dritte zu Ersatzbrennstoff verarbeitet.

- Ein großer Anteil der Matratzen beinhaltet Federkerne - ohne und mit textilen Umhüllungen. Die als Einzelfraktion erfassten, nicht umhüllten Federkerne gehen zum örtlichen Schrotthandel.
- Federkerne mit textilen Ummantelungen - Taschenfedern - sind als Monofraktion derzeit kaum absetzbar. Diese Fraktion wird den FE-Metallen aus der FE-Abscheidung zugeschlagen und einem Shredderbetrieb zugeführt.
- Den größten Anteil aus der Matratzenzerlegung bilden PU-Schäume und - zu einem geringen Teil - Latexschäume. Beide Fraktionen wurden gemeinsam als verpresstes Gemenge in die USA vermarktet. Auf dem US-Amerikanischen Markt wurde dieses Material werkstofflich in der Teppichbodenindustrie verwertet.
- Nicht zerlegbare, von der Materialstruktur her werkstofflich unbrauchbare Matratzen (z. B. Rosshaarmatratzen) werden der thermischen Verwertung zugeführt.

Allerdings ist aktuell die Verwertung von PUR-Schäumen im amerikanischen Markt weitgehend eingebrochen, eine Belebung erscheint zur Zeit nicht möglich.

### 17.2.7 Polstermöbel

Polstermöbel sind Zusammenbauten aus verschiedenen Materialien. Funktions- und herstellungstechnisch bedingt, sind diese Materialien oft nur schwer lösbar miteinander verbunden.

Die ursprünglich in sich stabilen Möbel werden durch das Verpressen in den Pressmüllfahrzeugen zerdrückt und können wegen der Materialvielfalt keiner Reinfraktion zugeordnet werden.

Ein manuelles Zerlegen zur Gewinnung von Werkstoffen lässt sich nicht wirtschaftlich darstellen. Daher werden diese Bestandteile durch Baggersortierung dem angelieferten Gemenge entnommen und getrennt gelagert.

Als sogenannter Sortierrest wird die Polstermöbelfraktion thermischen Verwertungsanlagen zugeführt, aber:

- Die „Zusammenbauten - Verbundkonstruktionen“ enthalten als Hauptfraktionen Textilien, Holz, Metalle, PU-Schaum und weitere verwertbare Fraktionen. **Dieses Potential geht durch die bisherige Praxis der Sperrmüllsortierung für eine höherwertige Verwertung im Wirtschaftskreislauf verloren - ein wichtiger Ansatz für das F&E-Vorhaben.** Die Zerkleinerungsversuche (Kapitel 19) werden Antworten auf die Fragen zur Verbesserung der Verwertungsansätze geben.

### 17.2.8 Reststoffe

Neben den sortenreinen und sortierbaren Fraktionen enthält das Sperrmüllgemisch auch Materialien, die aufgrund ihrer Beschaffenheit bei der Sortierung als Sortierrest ausgeschleust werden.

- Großteile wie Polstermöbel u. ä. werden wie dargestellt vor der Bandaufgabe mittels Bagger entnommen und gesondert der thermischen Verwertung zugeführt.
- Die im Rahmen einer Negativsortierung dem Sortierband manuell entnommenen, im Sinne einer wirtschaftlichen Verwertung nicht verwertbaren gemischten Stoffgruppen - auch Störstoffe - gehen ebenfalls in die thermische Verwertung.

Das auch im Reststoffgemenge enthaltene Werkstoffpotential geht aufgrund der vergleichbar geringen Mengen, der nur mit hohem Aufwand zu realisierenden Identifizierung sowie auch zum Teil fehlender sinnvoller Verwertungswege dem werkstofflichen Wirtschaftskreislauf verloren.

Die folgende Tabelle 22 stellt die Sortierergergebnisse der Jahre 2010 – 2015 dar. Im Durchschnitt der Ergebnisse kann von einer kontinuierlichen Sortierleistung ausgegangen werden, die durch erste Organisationsmaßnahmen in der Vorbereitung des F&E-Vorhabens ab 2012 verbessert wurde.


Übersicht 2010 bis 2015 Anlieferung und Aussortierung Oag (kommunal in Mg/a) 												
Bezeichnung	2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	Gesamt	Quote	Gesamt	Quote	Gesamt	Quote	Gesamt	Quote	Gesamt	Quote	Gesamt	Quote
	Mg/a	%	Mg/a	%	Mg/a	%	Mg/a	%	Mg/a	%	Mg/a	%
<b>Output</b>												
behandeltes Holz	6.075	51,5	6.439	52,9	6.270	52,1	7.342	52,6	7.383	48,7	7.760	49,6
Spanplatten	938	7,9	929	7,6	1.469	12,2	1.457	10,4	2.082	13,7	1.947	12,4
unbeh. Holz	-	-	-	-	-	-	66	0,5	-	-	-	-
<b>Holz Gesamt</b>	<b>7.013</b>	<b>59,4</b>	<b>7.367</b>	<b>60,6</b>	<b>7.738</b>	<b>64,3</b>	<b>8.865</b>	<b>63,5</b>	<b>9.465</b>	<b>62,4</b>	<b>9.707</b>	<b>62,0</b>
Eisenmetalle	577	4,9	516	4,2	543	4,5	600	4,3	651	4,3	776	5,0
Federkerne	94	0,8	76	0,6	81	0,7	87	0,6	79	0,5	87	0,6
Alu-Geschirr	-	-	-	-	2	0,0	1	0,0	1	0,0	11	0,1
Edelstahl	4	0,0	3	0,0	2	0,0	3	0,0	6	0,0	6	0,0
Kupfer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-Motore	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Schrott Gesamt</b>	<b>675</b>	<b>5,7</b>	<b>595</b>	<b>4,9</b>	<b>627</b>	<b>5,2</b>	<b>691</b>	<b>4,9</b>	<b>737</b>	<b>4,9</b>	<b>880</b>	<b>5,6</b>
Elektronik-Schrott	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PPK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teppiche	443	3,8	406	3,3	457	3,8	481	3,4	479	3,2	519	3,3
Textilien	-	-	-	-	-	-	177	1,3	-	-	-	-
<b>Schaumstoff</b>	<b>80</b>	<b>0,7</b>	<b>84</b>	<b>0,7</b>	<b>71</b>	<b>0,6</b>	<b>98</b>	<b>0,7</b>	<b>162</b>	<b>1,1</b>	<b>234</b>	<b>1,5</b>
Kunststoffreste	24	0,2	42	0,3	111	0,9	-	-	104	0,7	104	0,7
Verpackungen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mineralien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Wertstoffe Gesamt</b>	<b>8.235</b>	<b>69,8</b>	<b>8.495</b>	<b>69,8</b>	<b>9.004</b>	<b>74,8</b>	<b>10.313</b>	<b>73,8</b>	<b>10.946</b>	<b>72,1</b>	<b>11.444</b>	<b>73,1</b>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Restmüll</b>	<b>3.565</b>	<b>30,2</b>	<b>3.667</b>	<b>30,2</b>	<b>3.027</b>	<b>25,2</b>	<b>3.656</b>	<b>26,2</b>	<b>4.230</b>	<b>27,9</b>	<b>4.205</b>	<b>26,9</b>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>verarbeitete Menge</b>	<b>11.800</b>	<b>100,0</b>	<b>12.162</b>	<b>100,0</b>	<b>12.032</b>	<b>100,0</b>	<b>13.968</b>	<b>100,0</b>	<b>15.176</b>	<b>100,0</b>	<b>15.649</b>	<b>100,0</b>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>erreichte Sortierquote %</b>	<b>69,8</b>		<b>69,8</b>		<b>74,8</b>		<b>73,8</b>		<b>72,1</b>		<b>73,1</b>	

Tabelle 22: Sortierergergebnisse der Jahre 2010 – 2015

### 18 Gezielte Sortierung von begleitend konventionell mit Pressmüllfahrzeug erfasstem Sperrmüll

Eine erste Staffel von orientierenden Sortieranalysen (Tabelle 23) von kommunalem Sperrmüll ergab zunächst ohne Einsatz maschinentechnischer Hilfsmittel schärfere Ergebnisse bezüglich des Recyclingpotentials.

Gewählt wurde als Grundgesamtheit dieser Analysen das Sperrmüllaufkommen des Landkreises Osnabrück. Gesammelt wurde getrennt in städtischen und ländlichen Siedlungsstrukturen.

Die Sortieranalysen wurden händisch als „Boden-Vorsortierung“ gestartet und durch eine maschinengestützte Bandsortierung abgeschlossen.

Die Verwägungen der Ein- und Austragswerte wurden sowohl über die geeichte Brückenwaage (20 kg-Schritte) des Standortes OAG wie auch über Plattformwaagen für die Kleinmengen vorgenommen.

Gewichtete Wägeunterschiede bei Ein- und Auswägungen sind durch Feuchtigkeitsverluste als Folge der natürlichen Trocknung von nassem Sperrmüll in den Sortierhallen sowie durch die Skalenschritte

der verwendeten Waagen zu erklären. Beispielhaft können bei der Brückenwaage eine 10,00 Mg Einwaage bei fünf 2,00 Mg Auswägungen zu einer Gewichts Differenz von 100 kg führen (5 x 20 kg) .

	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.015	2.015
	Stadt	Stadt	Land	Land	Stadt & Land	Stadt & Land	oag	oag	
	Σ alle	Σ alle	Σ alle	Σ alle	Σ alle	Σ alle	Σ	Σ	
	Analyse	Analyse	Analyse	Analyse	Analyse	Analyse	Jahreswert	Jahreswert	
Fraktion	Wägung (kg)	%	Wägung (kg)	%	Wägung (kg)	%	Wägung (Mg)	Anteil (%)	
<b>1. Holz</b>									
behandeltes Holz A III	25.708	43,95	18.120	35,90	43.828	40,22	7.760	49,59	
Spanplatten	15.540	26,57	18.680	37,01	34.220	31,41	1.947	12,44	
<b>Summe Holz</b>	<b>41.248</b>	<b>70,52</b>	<b>36.800</b>	<b>72,92</b>	<b>78.048</b>	<b>71,63</b>	<b>9.707</b>	<b>62,03</b>	
<b>2. Metalle</b>									
Aluminium	-	-	-	-	-	-	11	0,07	
Edelstahl	-	-	-	-	-	-	6	0,04	
Eisenmetalle	2.061	3,52	1.672	3,31	3.733	3,43	776	4,96	
Verbunde	101	0,17	170	0,34	271	0,25	-	-	
<b>Summe Metalle</b>	<b>2.161</b>	<b>3,69</b>	<b>1.842</b>	<b>3,65</b>	<b>4.003</b>	<b>3,67</b>	<b>793</b>	<b>5,07</b>	
<b>3. Gewebe</b>									
Teppiche	1.937	3,31	1.221	2,42	3.158	2,90	519	3,32	
Textilien	220	0,38	-	-	220	0,20	-	-	
<b>Summe Gewebe</b>	<b>2.157</b>	<b>3,69</b>	<b>1.221</b>	<b>2,42</b>	<b>3.378</b>	<b>3,10</b>	<b>519</b>	<b>3,32</b>	
<b>4. Matratzen</b>									
Synthetikschaum	689	1,18	542	1,07	1.231	1,13	234	1,49	
Naturschaum/Latex	-	-	-	-	-	-	-	-	
Federkerne	552	0,94	272	0,54	824	0,76	87	0,55	
Textilien	548	0,94	268	0,53	816	0,75	-	-	
<b>Summe Matratzen</b>	<b>1.788</b>	<b>3,06</b>	<b>1.082</b>	<b>2,14</b>	<b>2.870</b>	<b>2,63</b>	<b>321</b>	<b>2,05</b>	
<b>5. Kunststoffe</b>									
Kunststoffe Typ I	1.197	2,05	721	1,43	1.918	1,76	104	0,67	
Kunststoffe Typ II	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kunststoffe Typ III	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kunststoffe Typ IV	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Summe Kunststoffe</b>	<b>1.197</b>	<b>2,05</b>	<b>721</b>	<b>1,43</b>	<b>1.918</b>	<b>1,76</b>	<b>104</b>	<b>0,67</b>	
<b>6. Verpackungen</b>									
	-	-	2	0,00	2	0,00	-	-	
<b>7. PPK</b>									
	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>8. Mineral. Bestandteile</b>									
	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>9. Elektroschrott</b>									
	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Summe Recycling</b>	<b>48.551</b>	<b>83,01</b>	<b>41.668</b>	<b>82,56</b>	<b>90.219</b>	<b>82,80</b>	<b>11.444</b>	<b>73,13</b>	
<b>10. Restmüll</b>	9.940	16,99	8.800	17,44	18.740	17,20	4.205	26,87	
<b>11. Summe gesamt</b>	<b>58.491</b>	<b>100,00</b>	<b>50.468</b>	<b>100,00</b>	<b>108.959</b>	<b>100,00</b>	<b>15.649</b>	<b>100,00</b>	
<b>12. Verwertungsquote (%)</b>		<b>83,0</b>		<b>82,6</b>		<b>82,8</b>		<b>73,1</b>	

**Tabelle 23: Sortierung von begleitend konventionell mit Pressmüllfahrzeug erfasstem Sperrmüll im Vergleich mit der Gesamtleistung im Jahr 2015**

### 18.1 Holz

Der Tabelle 23 ist zu entnehmen, dass für den Holzbereich eine gute Chance besteht mengenmäßig und damit auch qualitativ Verbesserungen herbeizuführen.

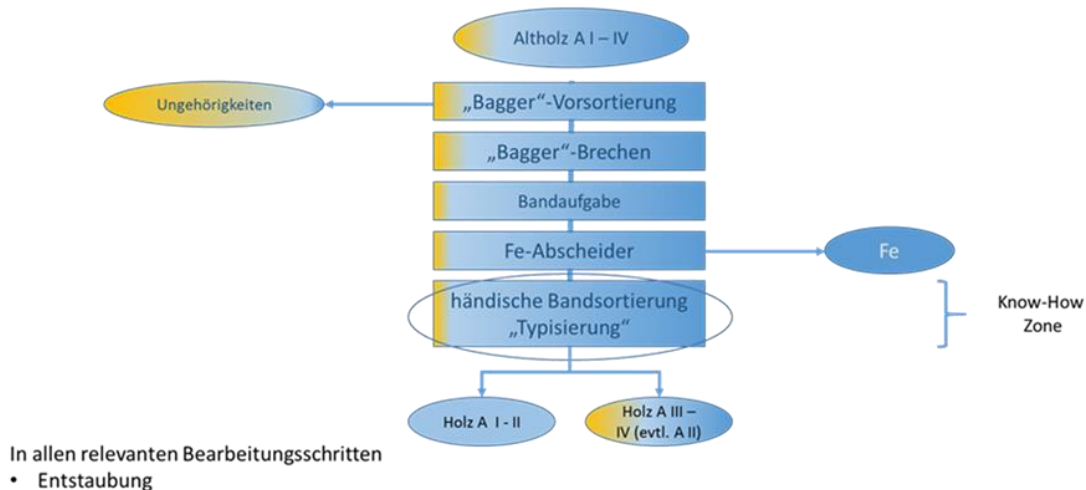
Holzteile bei denen von einer schadstoffhaltigen Beschichtung ausgegangen werden kann, sind weiß beschichtete oder entsprechend folierte Spanplatten (PVC-Gehalt in der Beschichtung resp. Folie) und älteres weiß lackiertes Holz (blei- und zinkhaltige Farbe).

Erfahrungen zeigen, dass durch die Aussortierung der angesprochenen Hölzer (Positiv- oder Negativsortierung in Abhängigkeit von der Kontaminierung) die Schadstoffbelastung der Holzfraktion reduziert wird und damit für den Großteil der Fraktion die Altholzklasse II abgesichert werden kann.

Diese Sortierschritte (siehe Bild 18) sind im Rahmen der Sortieranalysen aufgenommen worden und haben ein positives Ergebnis erbracht. Die so sortierte und kontaminationsfreie Holzfraktion wurde einem Holzverwertungsunternehmen zugeführt und auf seine Einsatzfähigkeit in der Verwertung überprüft.

Das Ergebnis der Überprüfung ergab, dass die Holzfraktion von außergewöhnlich guter Qualität war.

### Altholzsortierung



**Bild 18: Altholzsortierung im Rahmen der Sperrmüllsortierung**

Parallel zu den Prüfungen der praktischen Verwertbarkeit wurde eine Analyse der Schadstoffgehalte der aussortierten Hölzer (Fa. Wessling, Münster) durchgeführt. Die Analysen wurden auf Basis der relevanten DIN, ISO, EN und AltholzV-Vorgaben durchgeführt.

Basis für die Verwertung von Altholz ist die Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV), Bundesrecht.

Im Anhang 1 zu § 3 Abs. 1 AltholzV sind die Rahmenbedingungen für die Verfahren zur stofflichen Verwertung von Altholz aufgezeigt (Tabelle 24).

Nr.	Verwertungsverfahren	Zugelassene Altholzkategorien			Besondere Anforderungen
		A I	A II	A III	
					<b>A IV</b>
1	Aufbereitung von Altholz zu Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen	ja	ja	(ja)	Die Aufbereitung von Altholz der Altholzkategorie A III ist nur zulässig, wenn Lackierungen und Beschichtungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden.
2	Gewinnung von Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung	ja	ja	ja	Ja, eine Verwertung ist nur in hierfür nach <u>§ 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes</u> genehmigten Anlagen zulässig.
3	Herstellung von Aktivkohle/Industrieholzkohle	ja	ja	ja	Ja, eine Verwertung ist nur in hierfür nach <u>§ 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes</u> genehmigten Anlagen zulässig.

**Tabelle 24: Anhang 1 zu § 3Abs. 1 AltholzV**

Im Anhang 2 zu § 3Abs. 1 AltholzV sind die Grenzwerte für Holzhackschnitzel und Holzspäne zur Herstellung von Holzwerkstoffen aufgeführt (Tabelle 25).

Element/Verbindung	Grenzwerte Deutschland (Milligramm je Kilogramm Trockenmasse)
<b>Arsen</b>	2
<b>Blei</b>	30
<b>Cadmium</b>	2
<b>Chrom</b>	30
<b>Kupfer</b>	20
<b>Quecksilber</b>	0,4
<b>Chlor</b>	600
<b>Fluor</b>	100
<b>Pentachlorphenol</b>	3
<b>Polychlorierte Biphenyle</b>	5

**Tabelle 25: Anhang 2 zu § 3Abs. 1 AltholzV, Grenzwerte Deutschland**

Die Untersuchungen von 33 Holzproben ergaben im Schnitt der Proben Überschreitung bei Blei, Arsen, Pentachlorphenol und bei Chlor (Cl). Im Detail sind diese Überschreitungen nicht auf eine breite Basis sondern auf Spitzenwerte (beim Cl - 7 von 33 Proben, beim Pentachlorphenol - 5 von 33 Proben) zurückzuführen (siehe Tabelle 26).

	Arsen (As)	Blei (Pb)	Chlor (Cl)	Pentachlorphenol
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
<b>Grenzwert</b>	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>600</b>	<b>3,00</b>
<b>Proben Nr.</b>				
<b>S2</b>			23.100	
<b>S4</b>		37		
<b>S7</b>		57	3.200	
<b>S8</b>			700	
<b>S9</b>	7			
<b>S10</b>			1.250	
<b>S12</b>		39		
<b>S13</b>				12,90
<b>S15</b>			1.650	5,59
<b>V1</b>		47		92,20
<b>V6</b>				3,80
<b>V8</b>			1.600	
<b>V11</b>			750	
<b>V12</b>		47		
<b>V14</b>		45		

**Tabelle 26: Grenzwertüberschreitungen Holzproben**

Die kritischen Proben sind im Folgenden zusammengestellt (Bilder 19.1 – 19.5 und 20.1 – 20.3) und beschrieben. Die Proben (Negativauslese) erwiesen sich als nicht so kritisch belastet wie vermutet, ergeben aber einen guten Überblick über anzuwendende Sortierkriterien bei einer manuellen Sortierung.



19.1

S 2 Spanplatte foliert

	Chlor (Cl)
	mg/kg TS
<b>Grenzwert</b>	<b>600</b>
<b>Probe S 2</b>	<b>23.100</b>

S 4 Spanplatte Melaminharz-beschichtet

	Blei (Pb)
	mg/kg TS
<b>Grenzwert</b>	<b>30</b>
<b>Probe S 4</b>	<b>37</b>

 gelb Chlor (Cl)  
 blau Blei Pb



19.2

S 7 Spanplatte foliert

	Blei (Pb)	Chlor (Cl)
	mg/kg TS	mg/kg TS
Grenzwert	30	600
Probe S 7	57	3.200

S 8 Spanplatte hartbeschichtet (PVC)

	Chlor (Cl)
	mg/kg TS
Grenzwert	600
Probe S 8	700

 blau Blei (Pb)  
 gelb Chlor (Cl)




19.3

S 9 Spanplatte hartbeschichtet

	Arsen (As)
	mg/kg TS
Grenzwert	2
Probe S 9	7

S 10 Spanplatte beschichtet (PVC)

	Chlor (Cl)
	mg/kg TS
Grenzwert	600
Probe S 2	1.250

 grün Arsen (As)  
 gelb Chlor (Cl)



19.4

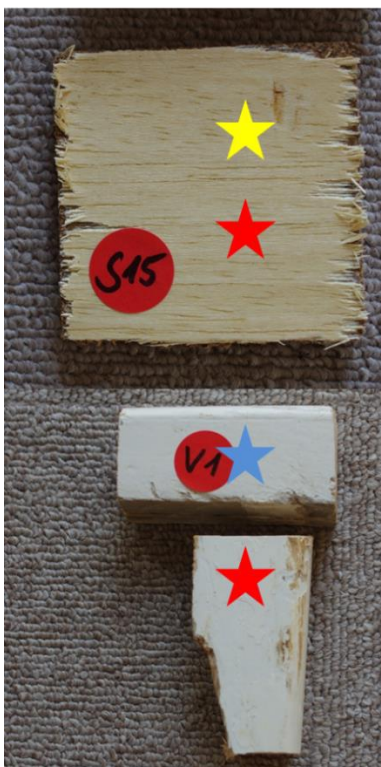
S 12 Spanplatte foliert

	Blei (Pb)
	mg/kg TS
Grenzwert	30
Probe S 12	39

S 13 Spanplatte hartbeschichtet

	Pentachlorphenol
	mg/kg TS
Grenzwert	3
Probe S 13	12,90

★ blau Blei Pb  
★ rot Pentachlorphenol



19.5

S 15 Spanplatte beschichtet

	Chlor (Cl)	Pentachlorphenol
	mg/kg TS	mg/kg TS
Grenzwert	600	3
Probe S 15	1.650	5,59

V 1 Vollholz gestrichen

	Blei (Pb)	Pentachlorphenol
	mg/kg TS	mg/kg TS
Grenzwert	30	3
Probe V 1	47	92,20

★ gelb Chlor (Cl)  
★ rot Pentachlorphenol  
★ blau Blei Pb

Bilder 19.1 – 19.5: Holzproben (folierte (beschichtete) Spanplatten)





20.1

V 6 Vollholz gestrichen

	Pentachlorphenol
	mg/kg TS
Grenzwert	3
Probe V 6	3,80

V 8 Vollholz gestrichen

	Chlor (Cl)
	mg/kg TS
Grenzwert	600
Probe V 8	1.600

 rot Pentachlorphenol  
 gelb Chlor (Cl)



20.2

V 11 Vollholz foliert (PVC)

	Chlor (Cl)
	mg/kg TS
Grenzwert	600
Probe V 11	750

V 12 Vollholz gestrichen

	Blei (Pb)
	mg/kg TS
Grenzwert	30
Probe V 12	47

 gelb Chlor (Cl)  
 blau Blei Pb



V 14 Sperrholz gestrichen

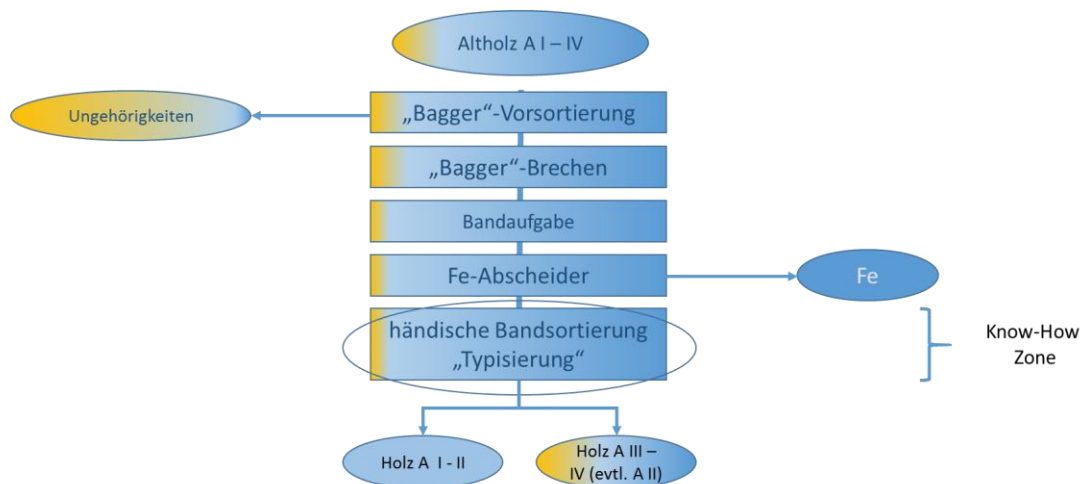
	Blei (Pb)
	mg/kg TS
Grenzwert	30
Probe V 14	45

★ blau Blei Pb

### 20.3

#### Bilder 20.1 – 20.3: Holzproben (gestrichenes Vollholz bzw. Sperrholz)

Die anzuwendenden Sortierkriterien bei einer manuellen Sortierung (Bild 21) beruhen auf Erfahrungen bei der optischen Einschätzung von Beschichtungen, Anstrichen und Verwendungsarten des Holzes. Alternative technische Verfahren, die auf Nahinfrarot-Technologie (NIR) beruhen, werden teilweise zur PVC-erkennung eingesetzt, sind aber noch nicht für alle Anwendungszwecke erprobt. Das Fraunhofer-Institut für Holzforschung mit Standort in Braunschweig hat Ansätze dazu entwickelt, und setzt auf die Entwicklung oder Adaption von Detektionstechniken mit anschließender Aufbereitung mittels geeigneter Zerkleinerungs- und Trennverfahren (Fraunhofer-Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut WKI).



In allen relevanten Bearbeitungsschritten  
 • Entstaubung

#### Bild 21: Altholzsortierung im Rahmen der Sperrmüllsortierung

Das Potential der Altholzverwertung in der Spanplattenproduktion ist scheinbar von den nationalen Regeln des Altholzeinsatzes abhängig. Der Tabelle 27 sind deutliche Unterschiede des Altholzeinsatzes zu entnehmen.

Land	Altholzanteil in der Spanplattenproduktion 2013
	%
Italien	95
Slowakei	6
Griechenland	5
Estland	1
Dänemark	67
Belgien	64
Deutschland	34
European Panel Federation (EPF) Mitgliedsländer?	46

**Tabelle 27: Nationale Unterschiede des Altholzeinsatzes (16)**

Die Grenzwerte z. B. für den Altholzeinsatz in Frankreich zeigen deutliche Unterschiede zu den deutschen Grenzwerten auf (Tabelle 28) und scheinen damit den Altholzeinsatz bei der Spanplattenproduktion offensichtlich zu erleichtern. 2014 wurden in Frankreich 41 % des erfassten Holzmaterials dem Recycling zugeführt.

Element/Stoffgruppe	Grenzwert Frankreich	Grenzwert Deutschland
	mg/kg	mg/kg
Arsen (As)	25	2
Cadmium (Cd)	50	2
Chrom (Cr)	35	30
Kupfer (Cu)	40	20
Blei (Pb)	90	30
Quecksilber (Hg)	25	0,4
Fluor (F)	100	100
Chlor (Cl)	1000	600
Pentachlorophenol (PCP)	5	3
Benzo(a)pyren (B[A]P)	0,5	n.n.

**Tabelle 28: Nationale Unterschiede von Grenzwerten, Frankreich/Deutschland (16)**

### 18.1.1 Markteinschätzung in Deutschland

#### 18.1.1.1 Allgemein

Bedingt durch gute wirtschaftliche Lage und die starke Bautätigkeit in Deutschland gibt es ein Überangebot an Altholz (Restholz, Verpackungsholz, Abrissholz). Durch die höheren Müllverbrennungspreise ab 2015 stiegen die Sortierquoten und führten zu einem höheren Altholzangebot. Damit wa-

ren und sind die Läger vieler Holzaufbereiter gefüllt und erreichten seit Sommer 2015 ihre genehmigungsrechtlichen Höchstlagermengen.

#### **18.1.1.2 Werkstoffliche Verwertung**

Die Steigerung des Altholzeinsatzes in der werkstofflichen Verwertung hängt von der Entwicklung technischer Sortierverfahren insbesondere bei der weitergehenden Spanaufbereitung ab (Fraunhofer-Ansatz).

#### **18.1.1.3 Thermische Verwertung**

Aufgrund der milden Witterung flossen in den vergangenen Wintern nicht die kalkulierten Mengen zur thermischen Verwertung ab. Revisionen und Ausfälle an Altholz – einsetzenden Kraftwerken förderten die nicht eingesetzten Lagermengen.

Eine Entschärfung der Marktlage ergab sich durch den Ausstieg von Sortierern. Die Energiepreise entwickeln sich stabiler und sind damit kalkulierbarer. Unabhängig von den politischen Fragen des „Brexit“ wird Großbritannien ab 2020 ausreichend über eigene thermische Nutzungsanlagen verfügen, dann wird kein Holz mehr aus diesem Markt importiert. Der Holzmarkt bleibt dennoch volatil, eine Flächenverfügbarkeit zur Lagerung ist nicht gegeben, diese Rahmenbedingungen sind - wie oben angeführt - durch eine verbesserte werkstoffliche Nutzung dieser Fraktion zu lösen.

#### **18.1.1.4 Aussichten**

Zur Verbesserung der Nutzung von Altholz ist die sogenannte Kaskadennutzung zu fördern, dazu gehört z. B. Qualitätskriterien für die stoffliche Nutzung von Altholz (in Spanplatten) im Holzbau zu entwickeln.

Der Export als Marktentlastung ist über die Notifizierung des Exportes organisierbar. Grundlage für die aktuell angewendete Genehmigungspraxis ist das sogenannte „EU-Wood-Urteil“. Bestimmend für die Genehmigung der Verwertung ist der strengere Maßstab – am Versand- oder am Bestimmungsort. Umweltschutzaspekte spielen dabei die wesentliche Rolle.

Letztlich ist die Frage zu klären wie sich die Novelle der Gewebeabfall-Verordnung entwickelt, die an die aktuelle Version der fünfstufigen Abfallhierarchie (Abfallvermeidung, Wiederverwendung, Recycling, Verwertung und Abfallbeseitigung) gemäß den §§ 6 bis 8 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes von 2012 angepasst werden soll. Die Aufbereitung und Verwertung verwertungsrelevanter Stoffgruppen muss dann in angepassten Verordnungen geregelt werden, die sowohl Anreize für die abfallwirtschaftliche Behandlung, die erzeugbare Qualität und die Kontrolle der Stoffe beinhalten.

### **18.2 Metalle**

Der Anteil der Metalle im Sperrmüll hat auf Grundlage der Altmetallpreise abgenommen. Durch eine bessere Sortierung, bei der die Trennschärfe zunimmt und damit Verbundmaterialien eher bestimmten Fraktionen zugeordnet werden, kann die Sortierquote wieder verbessert werden. Die weitergehenden Untersuchungen der Verwertungswege zeigen auf, dass das Potential durch Selektion in den nachfolgenden Aufbereitungsschritten gut genutzt wird.

### **18.3 Textilien, Gewebe und Teppiche**

Die Fraktionen Textilien, Gewebe und Teppiche erscheinen stabil, hier können - in der Diskussion mit potentiellen Verwertern - Trennvorschläge eine werkstoffliche Verwertung ermöglichen.

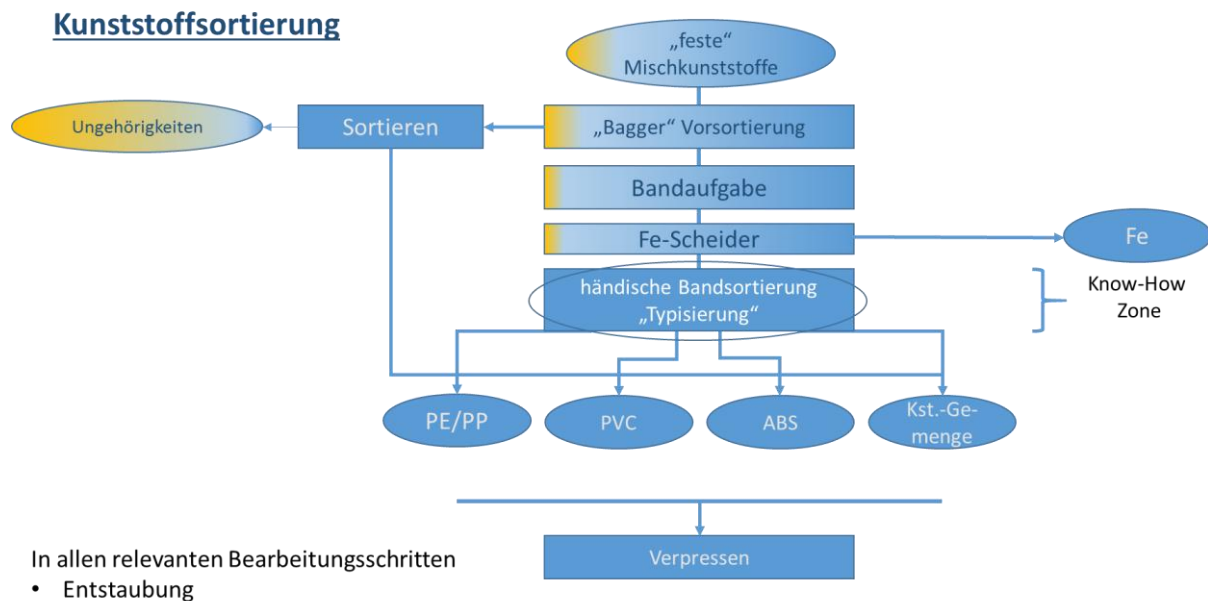
Gespräche mit einem Alttextil-Veredler lassen Ansätze zu einem werkstofflichen Recycling erkennen.

Durch die Inhomogenität der Faserstrukturen in Verbindung mit Schaumstrukturen bei den Teppichböden lassen sich für diese nur die thermische Verwertung über Ersatzbrennstoffe wirtschaftlich darstellen.

Die Fraktion Matratzen, auf die im Weiteren noch genauer eingegangen wird, lässt auch ein Verbesserungspotential erkennen.

### 18.4 Kunststoffe

Basis der Bereitstellung von Kunststoffen bei der OAG zur Verwertung, ist die händische Sortierung wie in Bild 22 dargestellt.



**Bild 22: Kunststoffsartierung im Rahmen der Sperrmüllsortierung**

Ein deutliches Verbesserungspotential ist bei der Kunststofffraktion zu erkennen, das  $\Delta$  von + 1,03 % erscheint zunächst minimal, auf die Fraktion bezogen wären dieses aber bundesweit eine Verbesserung von 25.000 Mg/a.

In der Summe ergibt sich eine verbesserte Recyclingquote, die durch weitere organisatorische oder technische Schritte noch angehoben werden kann.

Kunststoffe sind in der heutigen Zeit in vielerlei Branchen das Gebrauchsmaterial der Wahl. So wurden in Deutschland allein im Jahr 2013 ca. 10,46 Mio.Mg Kunststoffe produziert. Unter Berücksichtigung des Im- und Exports von Kunststoffwerkstoffen wurden rd. 11,76 Mio.Mg Kunststoffe verarbeitet.

Die Gruppe der Polyolefine, also die Kunststoffsorten PP (Polypropylen), PE-LD/LLD (Polyethylen-Low Densitiy/Linear Low Density) und PE-HD/MD (Polyethylen-High Density/Medium Density) stellt den stärksten Anteil der in Anwendung gebrachten Kunststoffe dar. Er beträgt rund 44,3%. Der Großteil der 11,76 Mio.Mg werden zu 35% in der Verpackungsindustrie eingesetzt, deren Erzeugnisse seit 1991 im Sinne der Kreislaufwirtschaft über das duale System Deutschland geregelt werden.

Neben den Produkten, die als Verpackungsmaterial dienen, wurden in Deutschland ca. 7,64 Mio.Mg Kunststoffe für den Bau- und Elektroniksektor sowie für Haushaltswaren, Möbel, Landwirtschafts- und Medizinprodukte oder sonstige Kunststoffprodukte aufgewendet.

Trotz der aktuell geringen Rohölpreise von 0,18 €/l (WTI, 2016) zur Erzeugung von Primärware und dem generellen Verbrauch von "nur" 6 % aus Raffinerien kommenden Erdöl-Produkten durch die Kunststoffindustrie, wird vor dem Hintergrund der beschriebenen Mengen an Kunststoffherzeugnissen die Notwendigkeit einer Auseinandersetzung mit den zwangsläufig anfallenden Kunststoffabfallmengen deutlich.

Im Jahr 2013 wurden insgesamt 5,68 Mio.Mg Kunststoffabfälle zur Verwertung und Beseitigung erfasst. Von den genannten 5,68 Mio.Mg werden 74.000 Mg durch Kunststoffherzeuger und 858.000 Mg aus Verarbeitungsbetrieben hervorgebracht und sind somit als sortenrein und "sauber" anzusehen. Die anderen 4,75 Mio.Mg beschreiben die Post-Consumer Abfälle, welche über diverse Sammelsysteme aufgenommen und einer geeigneten Verwertungsline zugeführt werden.

In Deutschland wurden 2013 hochgerechnet ca. 200.000 Mg Kunststoffabfälle durch die Sperrmüllsammungen aus Haushalten zusammengetragen. Angesichts der Tatsache, dass diese Menge lediglich 3,54 % des gesamten Kunststoffabfallaufkommens ausmacht, scheint eine nähere Beleuchtung eben dieser Fraktion zunächst weniger bedeutend.

Ziel des Projektvorhabens ist es Kunststoffe, welche durch Sperrmüllsammungen im Landkreis Os nabrück erfasst werden, hinsichtlich ihrer Zusammensetzung bezogen auf den Anteil der Polyolefine und deren Potenzial als Sekundärware näher zu beleuchten.

Wie aus den vorgestellten Analysen zu entnehmen, stellen die Hartkunststoffe im Verhältnis zur gesamten Sortiermenge des Sperrmülls nur einen sehr geringen Anteil dar. Die prozentual höchste Menge konnte im Jahr 2014 mit knapp 0,7 % erfasst werden. Gemäß dem im Forschungsantrag festgelegten Ziel, sollte der Anteil auf ca. 1,2 % erhöht werden.

Die geringe Erfassungsmenge lässt sich aus Beobachtungen auf zwei Hauptursachen zurückführen:

- Sammlung im Pressfahrzeug
- Vorgaben für die Sortierkabine

Durch die Sammlung im Pressfahrzeug weist der kommunale Sperrmüll oftmals nur noch Fragmente der zusammengetragenen Kunststoffprodukte auf (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 23).



**Bild 23: Kunststofffragmente aus einer Sammlung im Pressfahrzeug**

Bei der aktuellen Vorgehensweise der Sortierung des Sperrmülls werden bei der OAG lediglich Kunststoffteile größer DIN A4 aussortiert. Das führt dazu, dass die vielen kleinen Bruchstücke dem Restmüll zugeordnet und somit energetisch verwertet werden. Zudem werden über die grobe Baggervorsortierung auch einige Kunststoffbestandteile mit erfasst und fälschlicherweise dem Restmüll zugeordnet. Weiterhin findet keine weitere Sortierung in jeweilige Kunststoffsorten statt, was durch die aktuelle Logistik mit anschließender Sortierweise auch nicht möglich wäre.

Die Fragmentierung der Kunststoffe erlaubt weder eine Zuordnung zu einem Produkt, noch ist, in den meisten Fällen, auf den Bruchstücken ein Recyclingcode ausfindig zu machen. Daher wird der gesammelte Kunststoff ohne Erlös an entsprechende Verwerter abgegeben.

Das Sperrgut aus dem gewerblichen Bereich wird in anderen Fahrzeugen z.B. Absetzkipper, Absetzroller angeliefert. Hierdurch bleiben die Kunststoffteile nahezu unbeschädigt (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 24), eine weitere Sortierung nach Kunststoffsorten anhand einer Zuordnung zu Produkten oder durch das Ablesen des Recyclingcodes wäre durchaus möglich.



**Bild 24: Nahezu unbeschädigte Kunststoffe aus gewerblichem Sperrmüll**

#### 18.4.1 Vorgehensweise und Material

Der experimentelle Teil der Arbeit beinhaltet zwei Hauptziele. Einerseits wird untersucht inwieweit eine tiefere Sortierung im Bereich der Hartkunststoffe mit einfachen Methoden des Handkläubens erfolgreich bei der OAG umzusetzen ist, andererseits welches Potential aussortierte Polyolefine aus Sperrmüll hinsichtlich der Verarbeitungseigenschaften sowie der mechanischen Eigenschaften aufweisen.

Aus diesem Grund werden zunächst gemischte und unbeschädigte Kunststoffe, welche durch das bereits beschriebene Getrennt-Sammeln kommunalen Sperrmülls gewonnen wurden, händisch sortiert. Die händische Sortierung erfolgt nach Listen, welche Kunststoffe in eine gute bzw. werkstofflich verwertbare Fraktion (Gutfraktion) und eine schlechte bzw. werkstofflich nicht verwertbare Fraktion (Schlechtfraktion) unterteilen. Die Gutfraktion wird nachfolgend weiter mittels NIR Kunststoffanalysator untersucht. Diese Prüfung dient einerseits der Kontrolle, ob die vorliegende Gutfraktion tatsächlich werkstofflich verwertbare Produkte darstellen, andererseits des Generierens von Polyolefinen für die weiteren Untersuchungen. Die Polyolefine aus gewerblichem Sperrmüll werden anhand des aufgedruckten Recyclingcodes aussortiert. Zur Bestätigung der vorliegenden Kunststoffsorte wird auch hier der NIR-Kunststoffanalysator herangezogen. So ergeben sich insgesamt vier Versuchsreihen (Tabelle 29).

PP-K	PP-G	PE-K	PE-G
Polypropylen aus kommunaler Sammlung	Polypropylen aus gewerblicher Sammlung	Polyethylen aus kommunaler Sammlung	Polypropylen aus gewerblicher Sammlung

**Tabelle 29: Versuchsreihen Kunststoffe**

Die aussortierten Polyolefine werden nachfolgend einer groben Zerkleinerung unterzogen, anschließend in handelsüblichen Waschmaschinen ohne Zusatz von Tensiden gereinigt und nach entsprechender Trocknung auf eine verarbeitungsgerechte Korngröße nachzerkleinert.

Zur Untersuchung der Fließ- und somit Verarbeitungseigenschaften werden die Melt-Flow-Indizes Schmelze-Volumenfließrate und Schmelze-Massefließrate sowie die Dichte der Materialien bestimmt (nach DIN EN ISO 1133).

Die mechanischen Kennwerte der Versuchsreihen werden durch eine Zugprüfung (nach DIN ISO 527-1) und einer Schlagzähigkeitsprüfung (nach DIN ISO 179-1) ermittelt. Für die beiden letztgenannten Prüfungen werden zuvor entsprechende Prüfkörper spritzgegossen. In der folgenden Darstellung (Bild 25) wird die Planung des experimentellen Teils graphisch verdeutlicht.

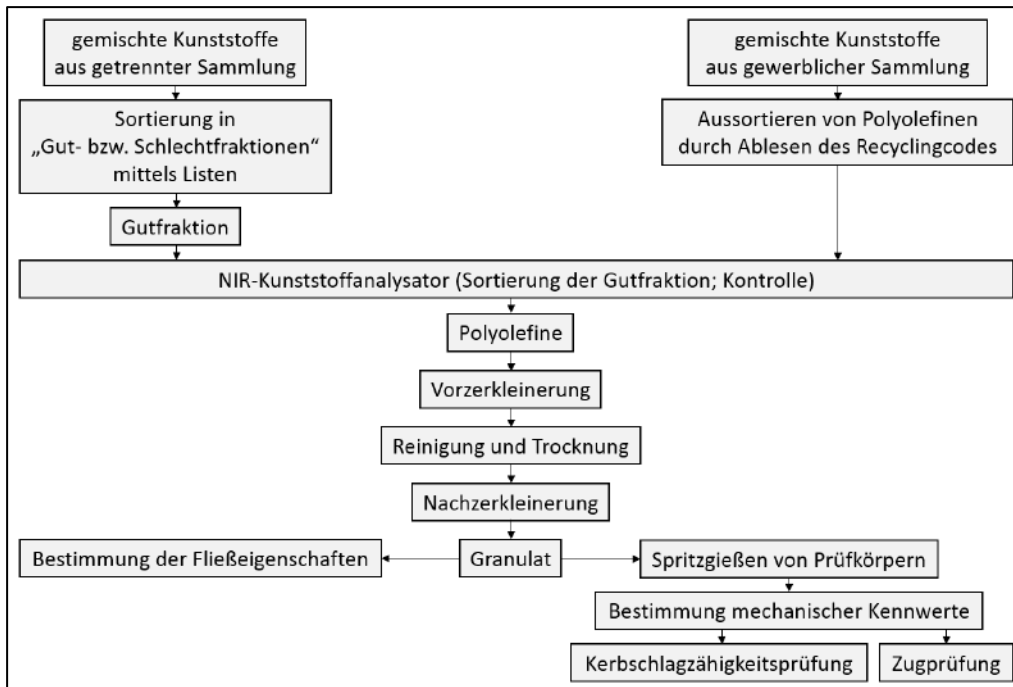


Bild 25: Schematische Darstellung der Vorgehensweise innerhalb des experimentellen Teils

## 18.4.2 Sortierung und Herstellung der Prüfkörper

### 18.4.2.1 Vorsortierung

Zur Herstellung der Prüfkörper aus PP bzw. PE muss im Vorfeld eine Sortierung gemischter Hartkunststoffe erfolgen. Die Sortierung wird für den kommunalen Bereich zunächst manuell durchgeführt und es wird anhand entsprechender Listen (vgl. Bild 26 und Bild 27) in werkstofflich recycelbare und nicht brauchbare Fraktionen getrennt.



Bild 26: Liste 1 zur Kunststoffsortierung in verwertbare und nicht verwertbare Fraktionen; die grün gefärbten Produkte eignen sich für ein werkstoffliches Recycling (Labots, 2015) (17)

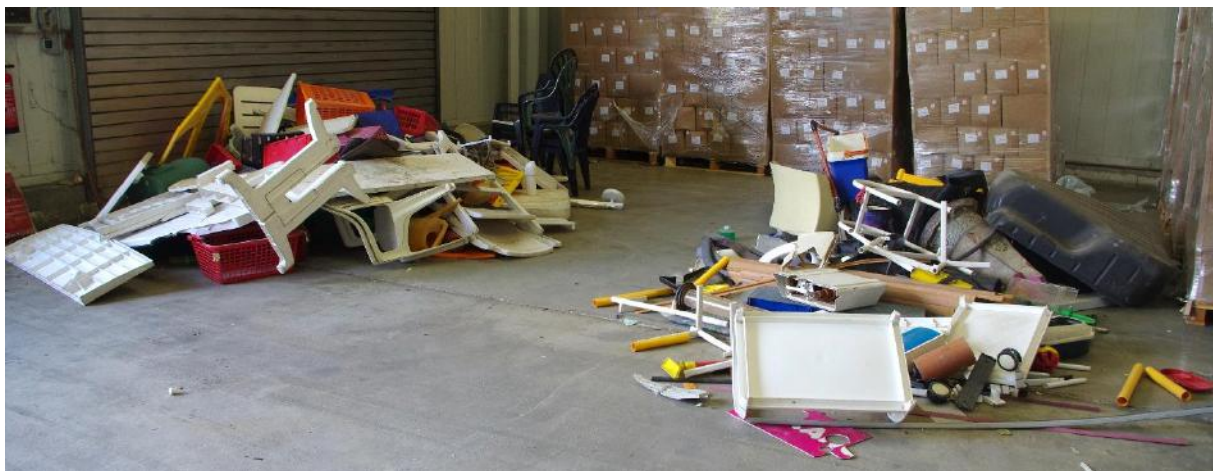


**Bild 27: Liste 2 zur Kunststoffsortierung in verwertbare und nicht verwertbare Fraktionen (Quelle: mtm plastics GmbH) (18)**

Die oben dargestellten Listen wurden durch die Kunststoffrecyclingbetriebe Van Werven und mtm plastics GmbH für die Projektarbeit zur Verfügung gestellt und dienen jeweils innerbetrieblich als Orientierung hinsichtlich der Annahmekriterien von Altkunststoffen.

Da diese Listen Kunststoffe anhand ihrer Anwendung kategorisieren, werden für die Erzeugung der Stichproben 350 kg unbeschädigte Kunststoffe aus der getrennten Sammlung herangezogen. Bild 28 und

**Tabelle 30** zeigen das Ergebnis der manuellen Sortierung nach Listen.



**Bild 28: Ergebnis der manuellen Sortierung von Hartkunststoffe aus einer getrennten Sperrmüllsammmlung; links: Gutfraktion; recht: Schlechtfraktion**

	Gemischt	Gutfraktion	Schlechtfraktion
Anteil [kg]	350,5	245	105,5
Anteil [%]	100	69,9	30,1

**Tabelle 30: Ergebnisse aus der Trennung gemischter Hartkunststoffe des kommunalen Bereichs nach Listen**

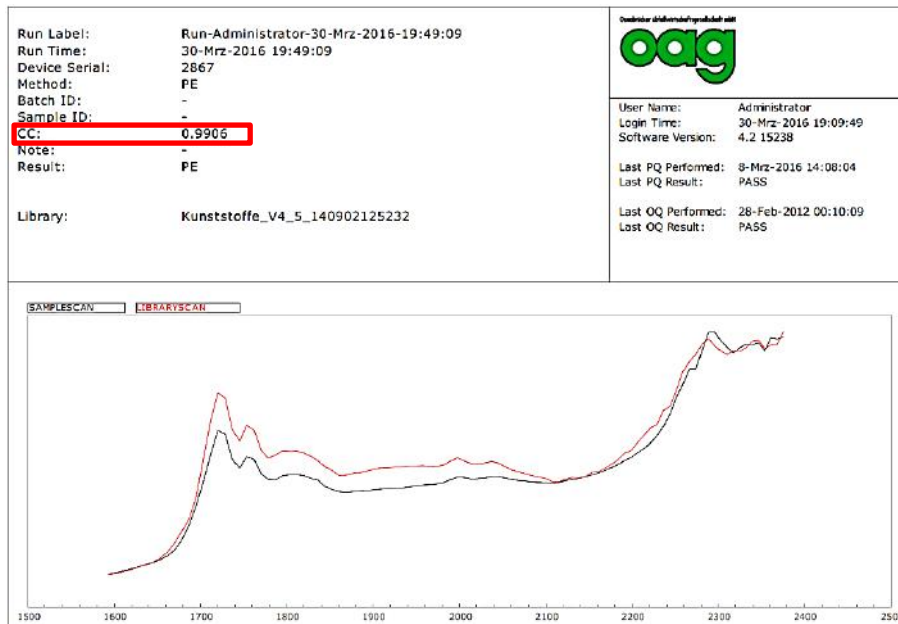
**18.4.2.2 Nachsortierung**

Zur Gewinnung der Polyolefine sowie zur Kontrolle der Verlässlichkeit der Sortierung nach genannten Listen wird die Gutfraktion Teil für Teil mittels handgehaltenem NIR-Analysator **microPHAZIR PC (Fa. Analyticon Instruments GmbH)** analysiert.

Bild 29 zeigt das beschriebene Kunststofferkennungsgerät im Einsatz zeigt, Bild 30 verdeutlicht beispielhaft die Identifizierung einer Kunststoffsorte (hier PE).



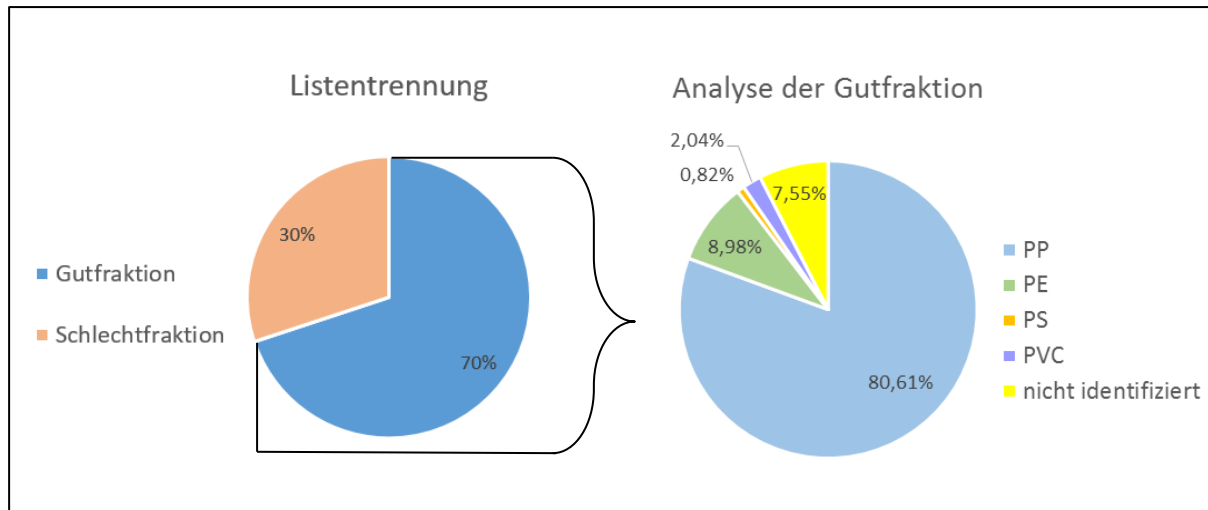
**Bild 29: Handhabung des NIR-Analysators**



**Bild 30: PE-Spektrum im Vergleich mit hinterlegtem Referenzspektrum für PE; der rot markierte Bereich weist auf den Korrelationskoeffizienten hin; das rote Spektrum stellt das der Probe dar; das schwarze Spektrum zeigt die Referenz**

Bild 31 stellt die Ergebnisse der Analyse der Gutfraktion mittels NIR-Kunststoffanalysator dar. Es zeigt sich, dass die zuvor als Gutfraktion aussortierten 70 % Kunststoffe (Masseausbringen) ca. 90 % Po-

lyolefine (Reinheit) enthalten. Etwa 7,5 % der Kunststoffe konnten aufgrund der dunklen Einfärbung vom Gerät nicht identifiziert werden. Der restliche Anteil beschränkt sich auf PS (Polystyrol) und PVC (Polyvinylchlorid). Diese Kunststoffe entspringen der Klasse der Thermoplaste und stellen somit ein werkstofflich recycelbares Produkt dar. Aus der PP- und PE-Fraktion werden für die weiteren Untersuchungen ausreichende Mengen entnommen (ca. 3 kg pro Sorte).



**Bild 31: Ergebnisse aus der Analyse mittels NIR-Messsystem (kommunaler Bereich)**

Wie bereits erläutert, werden die Polyolefine aus dem gewerblichen Sperrmüll durch Ablesen aufgedruckter Recyclingcodes aus gemischten Kunststoffen entnommen und ebenfalls zur Kontrolle mittels NIR-Analysator überprüft. Hierbei wird lediglich darauf geachtet, dass ausreichende Mengen für nachfolgende Untersuchungen generiert werden.

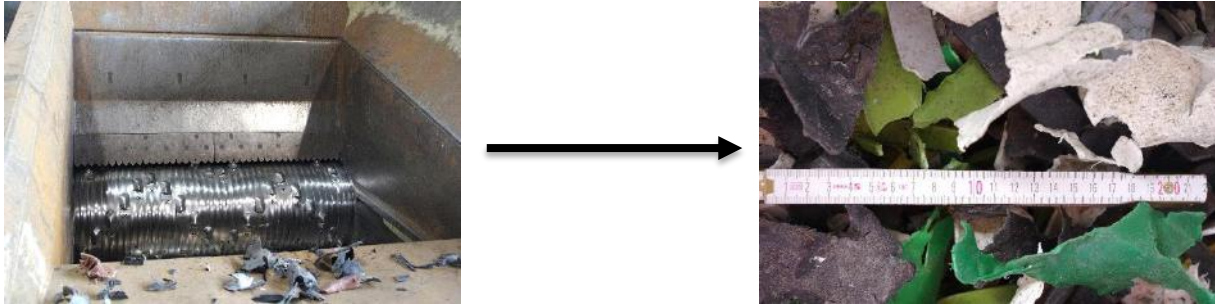
#### 18.4.2.3 Vorzerkleinerung, Reinigung, Nachzerkleinerung

Sowohl für den notwendigen Waschprozess als auch für die Zerkleinerung der Kunststoffe auf eine rieselfähige Korngröße, wurden die aussortierten Proben zunächst vorzerkleinert.

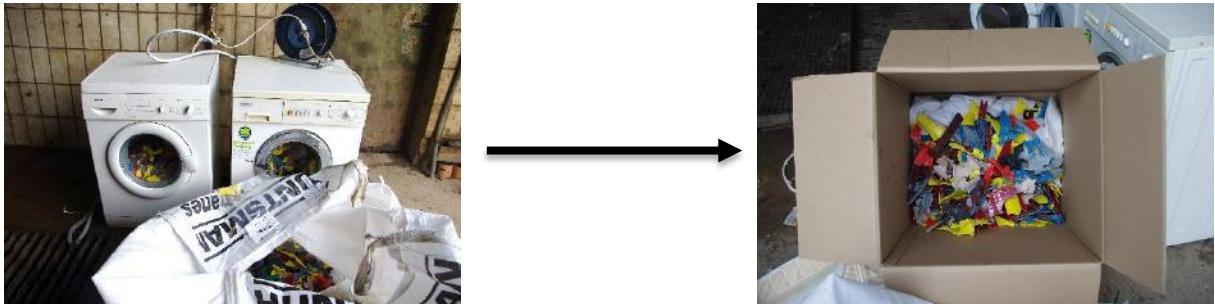
Anschließend wurden die vorzerkleinerten Kunststoffe gewaschen. Mit einer Wassertemperatur von 30°C und ohne Zusatz von reinigungsunterstützenden Mitteln wurden die Proben in einem Waschgang gereinigt und luftgetrocknet.

Die Nachzerkleinerung erfolgt an Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik der Hochschule Osnabrück. Mittels Granulator wurden die vorzerkleinerten Kunststoffe auf eine definierte und verarbeitungsgerechte Korngröße von 3-5 mm gebracht.

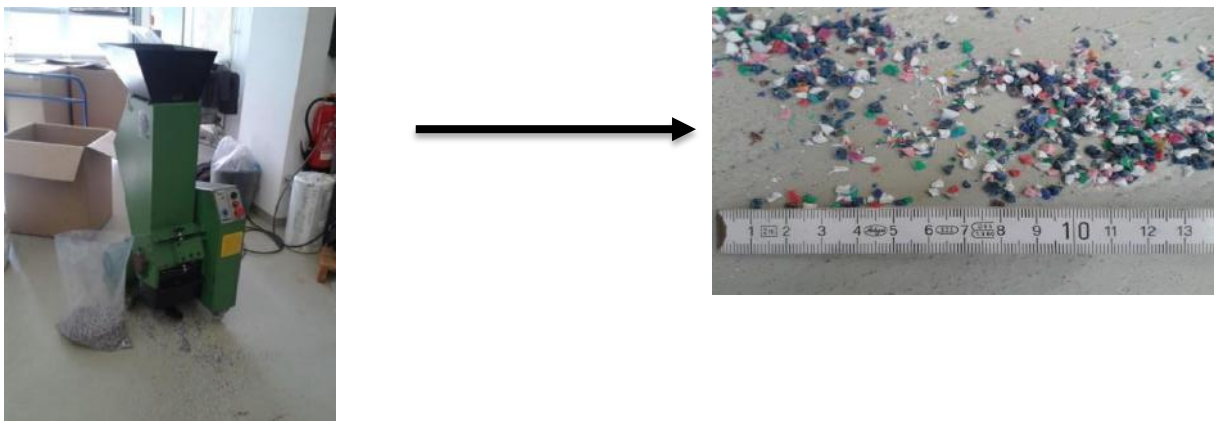
Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 32 bis 34 verbildlichen die eben geschil-  
derten Arbeitsschritte.



**Bild 32: Vorzerkleinerung; links: Aufsicht auf das Schneidwerk; rechts: zerkleinertes Material (Korngröße etwa 10-15 cm)**



**Bild 33: Waschen (links) und Trocknen (rechts) der Kunststoffe**



**Bild 34: Nachzerkleinerung der Kunststoffe; links: verwendeter Granulator; rechts: Kunststoffgranulat (Korngröße etwa 3-5 mm)**

#### **18.4.2.4 Prüfkörperherstellung durch direkte Formgebung**

Die Herstellung der Vielzahlprüfkörper des Typs 1A (Schulterstab) für die Zugprüfung erfolgt in Anlehnung an DIN EN ISO 3167 durch Spritzgießen des zuvor hergestellten Granulats in Anlehnung an ISO 294-1. Ebenfalls in Anlehnung an ISO 294-1 werden die Prüfkörper für die Untersuchung der Schlageigenschaften spritzgegossen.

Durch das Spritzgusswerkzeug ist lediglich eine quaderförmige Formgebung ohne Kerbe möglich. Daher muss die definierte Kerbe nachträglich eingebracht werden.

#### **18.4.3 Ergebnisse und Diskussion**

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Untersuchungen in Form von Mittelwert sowie zugehöriger Standardabweichung angegeben.

### 18.4.3.1 Schmelzfließeigenschaften

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Diagramm 1 und Diagramm 2 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. sind die Ergebnisse der Schmelzfließprüfung dargestellt. Zu Vergleichszwecken werden die Werte beider Indizes, MVR und MFR, aufgeführt. Zudem wird die ermittelte Schmelzdichte der untersuchten Materialien in Diagramm 3 abgebildet.

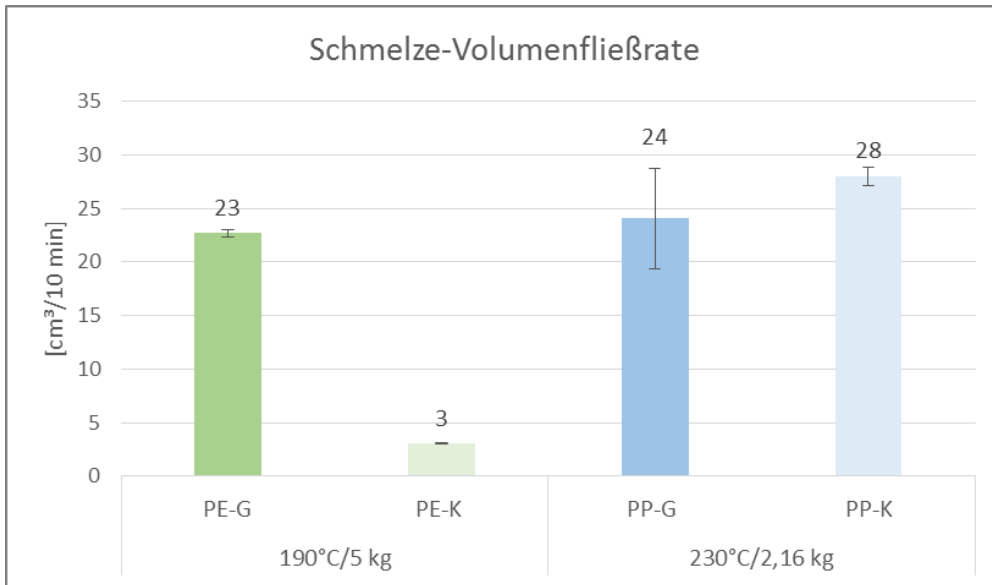


Diagramm 1: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen zur MVR

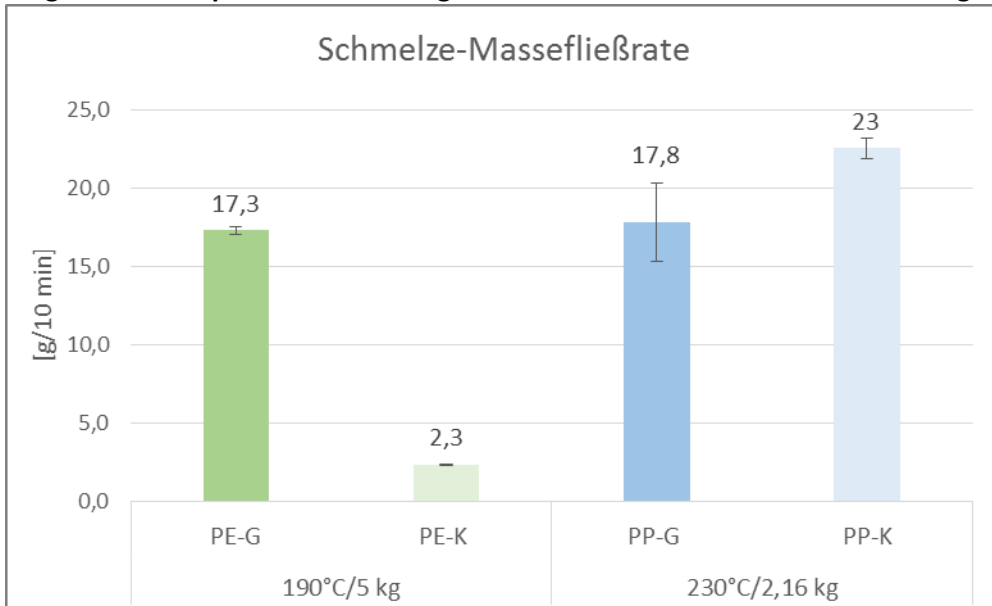
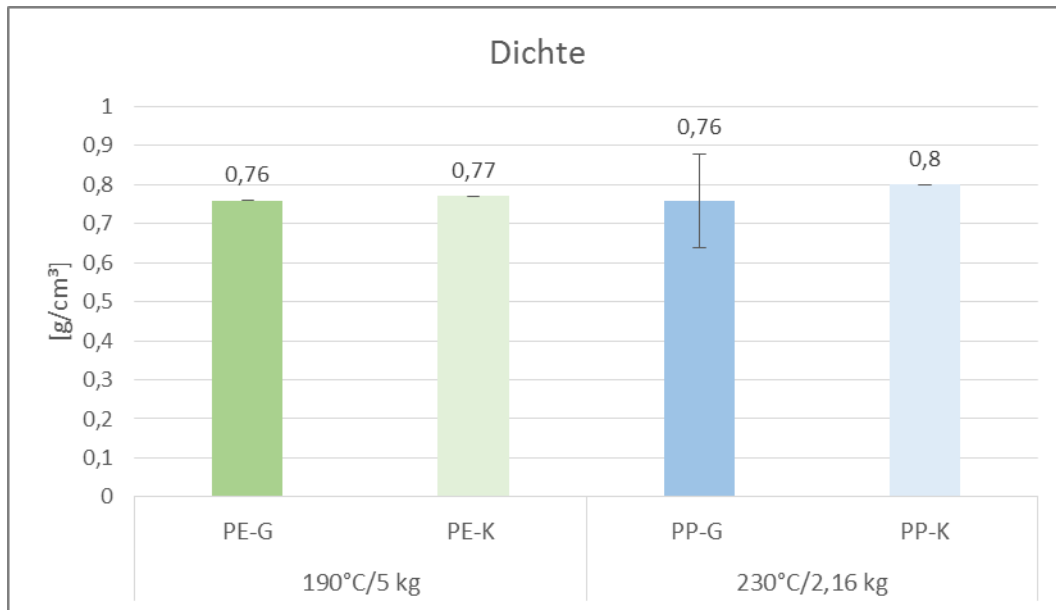


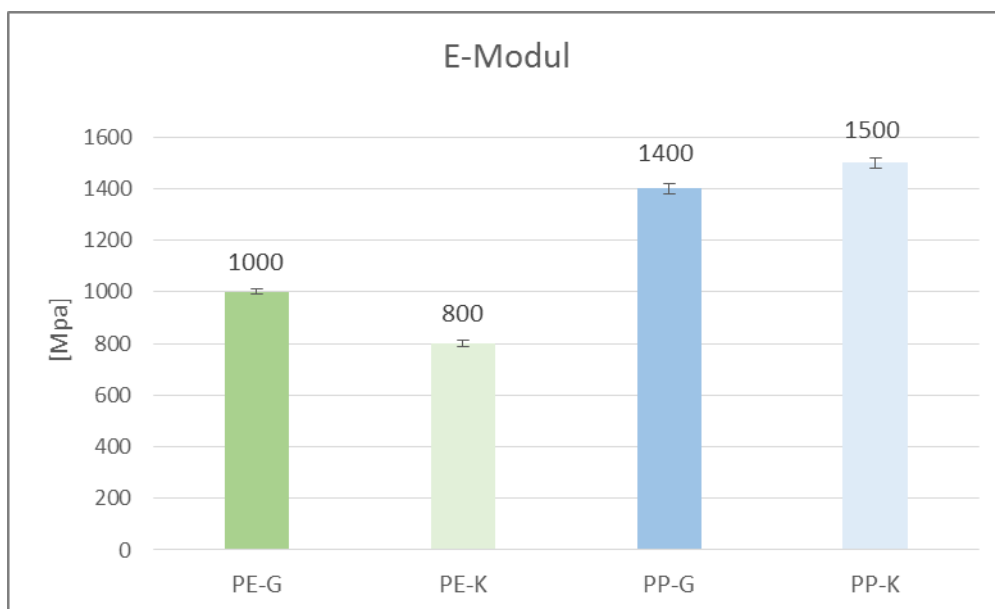
Diagramm 2: graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen zur MFR



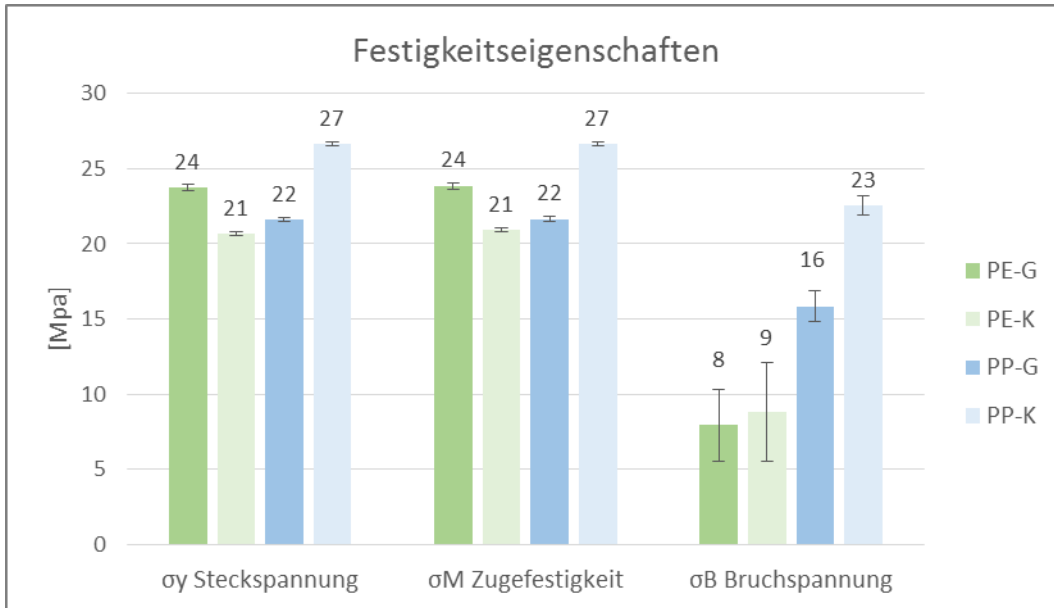
**Diagramm 3: graphische Darstellung der aus der Schmelzeindexmessung ermittelten Dichte; dargestellt werden die Mittelwerte und Standardabweichungen**

#### 18.4.3.2 Zugfestigkeitsprüfung

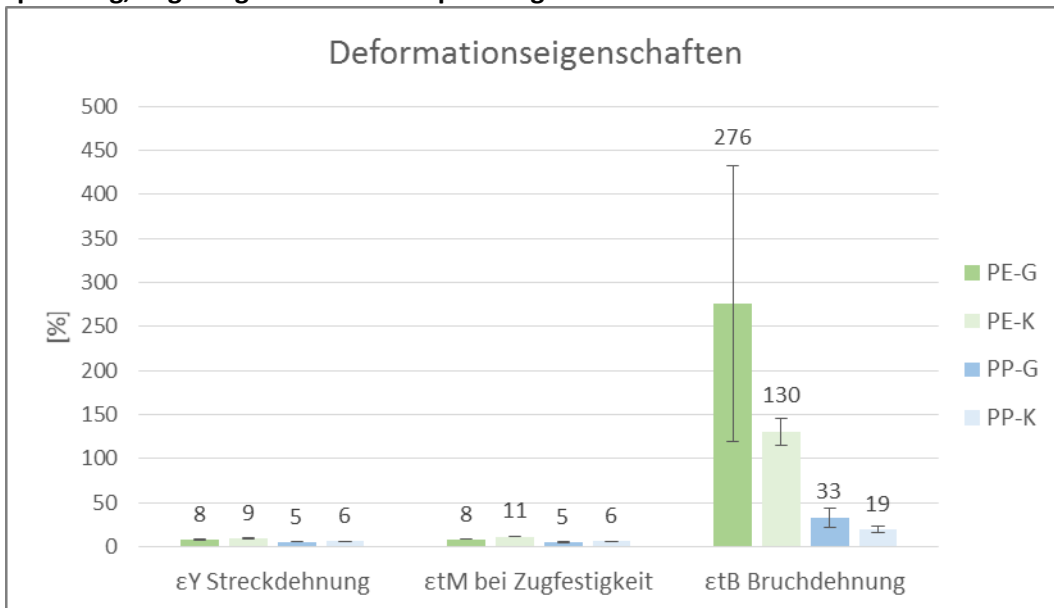
In Diagramm 4 sind die aus dem Zugversuch (Traversengeschwindigkeit 1mm/min) berechneten elastischen Eigenschaften (Elastizitätsmodul) angegeben. Diagramm 5 beschreibt die Festigkeitseigenschaften und die Deformationseigenschaften werden in Diagramm 6 dargestellt, welche aus dem Zugversuch mit einer Traversengeschwindigkeit von 50mm/min generiert wurden.



**Diagramm 4: Mittelwerte und Standardabweichung der aus dem Zugversuch ermittelten Elastizitätsmodulen**



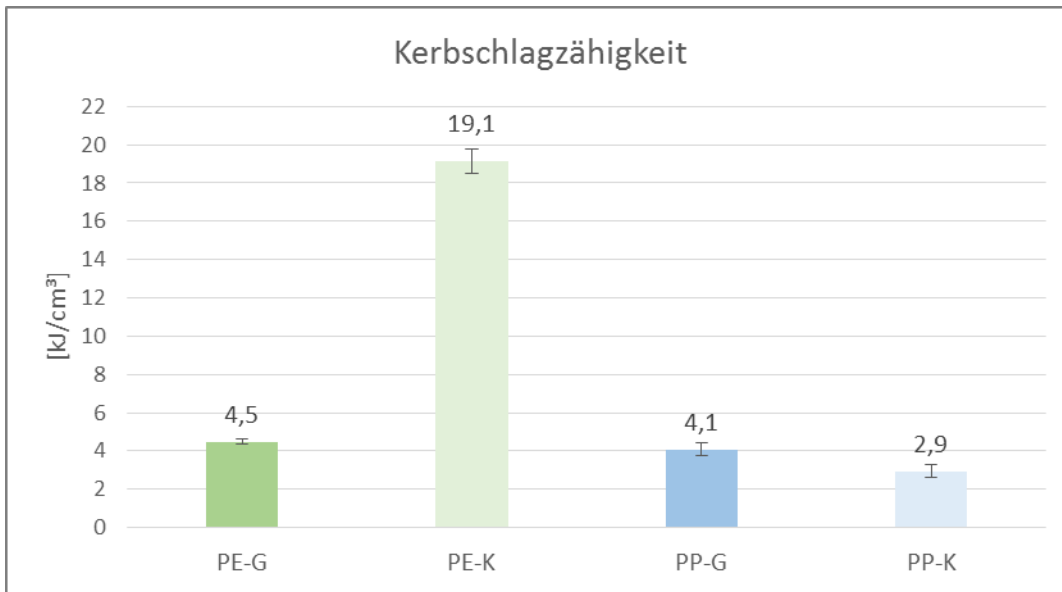
**Diagramm 5:** graphische Darstellung der Mittelwerte sowie Standardabweichungen zur Streckspannung, Zugfestigkeit und Bruchspannung



**Diagramm 6:** graphische Darstellung der Mittelwerte sowie Standardabweichungen zur Streckdehnung, Dehnung bei Zugfestigkeit und Bruchdehnung

### 18.4.3.3 Schlagzähigkeit

Diagramm 7 **Diagramm** bildet die im Kerbschlagbiegeversuch ermittelten Kerbschlagzähigkeiten der untersuchten Versuchsreihen ab.



**Diagramm 7: Ergebnisse aus dem Kerbschlagbiegeversuch, dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen zur Kerbschlagzähigkeit**

#### 18.4.3.4 Vergleich zu Neuware

Neben dem Vergleich der Materialien untereinander besteht ein Teil der Aufgabenstellung darin den Einfluss der Rezyklierung zu testen. Daher werden, ausgehend von vergleichbaren Werten hinsichtlich der Schmelzfließindizes ( $\pm 10\%$ ), Neuware-Produkte gesucht und die mechanischen Eigenschaften verglichen. Nicht jede in dieser Arbeit untersuchte Eigenschaft kann verglichen werden, da die Datenblätter nicht immer alle Eigenschaften enthalten.

Die Suche nach Vergleichsmaterialien, ausgehend von gleichen Schmelzfließereigenschaften, gestaltet sich für die PE-Versuchsreihen sehr schwierig. Trotz Wiederholung der Schmelzfließprüfung bei einer Prüflast von 2,16 kg und trotz Zugang zu der Datenbank K-Data online (Internet), welche 23.000 Handelsprodukte von 220 Herstellern bereitstellt, ist es schwierig einen PE-Werkstoff zu finden, der in einem Variationsbereich von  $\pm 10\%$  den Schmelzfließereigenschaften des PE-Gs entspricht und nach gleichen Prüfverfahren hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften getestet wurden. Aus diesem Grund wird PE-G nun mit einem Werkstoff verglichen, dessen Schmelzfließereigenschaften zwar etwas geringer sind, dafür aber die anderen Vergleichswerte vorliegen. Beim PE-K-Material konnte ein Vergleichs-Werkstoff gefunden werden, welcher hinsichtlich des MFR zwar einen nahezu identischen Wert aufweist, jedoch keine Angaben zur Kerbschlagzähigkeit enthält.

##### 18.4.3.4.1 PE-G und Hostalen GD7255

Hostalen GD7255 ist ein PE-HD-Werkstoff des Herstellers Lyondellbasell, welches sich für eine Verarbeitung im Spritzgussprozess eignet.

**Tabelle 31** stellt die mechanischen Eigenschaften des PE-Gs mit denen des Vergleichsmaterials gegenüber.

Eigenschaften	PE-G	Hostalen GD7255
MFR 190/2,16 [g/10 min]	5,6	4
E-Modul [MPa]	1000	1200
Streckspannung [MPa]	24	27
Streckdehnung [%]	8	8
Kerbschlagzähigkeit [kJ/m²]	4,5	4

**Tabelle 31: Gegenüberstellung mechanischer Daten von PP-G und Hostalen GD7255 ausgehend von vergleichbarem MFR (Basellorlen, 2014) (19)**

Beim Vergleich des PE-Gs mit Hostalen GD7255 weist der höhere MFR-Wert auf eine geringere molekulare Masse des Untersuchungsobjekts sowie einer besseren Fließfähigkeit in der Schmelze hin. Die geringere molekulare Masse würde auch die geringeren Werte hinsichtlich des E-Moduls und der Streckspannung erklären. Die um  $0,5 \text{ kJ/m}^2$  höhere Kerbschlagzähigkeit lässt sich hierdurch jedoch nicht begründen. Diese müsste bei einer geringeren molekularen Masse ebenfalls abnehmen. Aus anwendungsbezogener Sicht können die Ergebnisse so interpretiert werden, dass durch den höheren MFR-Wert das Fertigen filigraner Strukturen im Spritzgussprozess noch einfacher realisiert werden könnte als mit dem Vergleichsmaterial. Die mechanischen Kennwerte deuten jedoch auf eine geringere Belastbarkeit hin, da der Widerstand gegen Verformung um  $200 \text{ MPa}$  (vgl. E-Modul) kleiner ist und das Material PE-G  $3 \text{ MPa}$  geringere Spannungen erträgt, ehe es zu fließen beginnt. Die höhere Kerbschlagzähigkeit erlaubt jedoch die Herstellung von Produkten, welche häufig schlagartigen Belastungen ausgesetzt sein könnten wie beispielsweise Handyhüllen oder Küchenartikel.

#### 18.4.3.4.2 PE-K und Hostalen 4131B

Hostalen 4131B ist ein PE-HD-Material des Herstellers Lyondellbasell. Laut Datenblatt eignet es sich zur Herstellung industrieller Folien sowie Trinkwasser-, Heizungs- und Sanitärrohre. Tabelle 32 stellt die mechanischen Kennwerte des Vergleichsmaterials mit denen des Untersuchungsobjekts gegenüber.

Eigenschaften	PE-K	Hostalen 4131B
MFR [g/10 min]	2,3	2,2
E-Modul [MPa]	770	650
Streckspannung [MPa]	21	23
Streckdehnung [%]	9	8

**Tabelle 32: Gegenüberstellung mechanischer Daten von PE-K und Hostalen 4131B ausgehend von vergleichbarem MFR (Lyondellbasell, 2016) (20)**

Beim Vergleich des PE-Ks mit dem Material Hostalen 4131B zeigt sich hinsichtlich des MFRs lediglich ein Unterschied von  $0,1 \text{ g/10 min}$ , was auf sehr ähnliche Fließeigenschaften hindeutet. So dürften aus verarbeitungstechnischer Sicht keine Probleme mit dem rezyklierten Material auftreten. Der höhere E-Modul bei PE-K ist positiv zu werten. So weist das Recyclingmaterial sogar einen besseren Widerstand gegenüber Verformung auf als das Vergleichsmaterial. Als Erklärung könnte auch hier die erhöhte molekulare Masse bei PE-K dienen, wodurch laut Literatur der MFR und der E-Modul steigt. Die Streckspannung müsste demzufolge ebenfalls einen höheren Wert aufweisen. Dieser liegt jedoch  $2 \text{ MPa}$  unter dem Wert des Vergleichsmaterials. Demzufolge darf PE-K in der Anwendung nicht ganz so stark belastet werden. Für Hostalen 4131B sind keine Kerbschlagzähigkeitswerte aufgeführt. Ausgehend vom MFR ist jedoch davon auszugehen, dass diese ebenso hoch ausfallen wie beim Untersuchungsobjekt ( $19,1 \text{ kJ/m}^2$ ). Aufgrund der annähernd gleichen, oder sogar besseren, mechanischen Eigenschaften, könnte das Rezyklat durchaus im gleichartigen Anwendungsbereich eingesetzt werden wie Hostalen 4131B. Generell eignen sich PEs mit geringen MFRs ( $0,2 - 4 \text{ g/10 min}$ ) zum Extrudieren von beispielsweise Drahtummantelungen und Monofilamenten aber auch für Extrusionsbeschichtungen. Zudem können sie zur Herstellung blasgeformter Produkte verwendet werden.

#### 18.4.3.4.3 PP-G und ALTECH PP-H A 1000/546 FR

Beim Vergleichsmaterial ALTECH PP-H A 1000/546 FR des Herstellers ALBIS Plastic GmbH handelt es sich um ein flammgeschütztes Polypropylen-Homopolymer, welches für die Verarbeitung im Spritzguss geeignet ist.

**Tabelle 33** zeigt die Gegenüberstellung der mechanischen Kennwerte.

Eigenschaften	PP-G	ALTECH PP-H A 1000/546 FR
MVR [cm <sup>3</sup> /10 min]	24	25
E-Modul [MPa]	1400	1500
Streckspannung [MPa]	22	35
Bruchdehnung [%]	33	50
Kerbschlagzähigkeit [kJ/m <sup>2</sup> ]	4,1	4

**Tabelle 33: Gegenüberstellung mechanischer Daten von PP-G und ALTECH PP-H A 1000/546 FR ausgehend von vergleichbarem MVR (ALBIS, 2016) (21)**

**Tabelle 34** zeigt, dass das Material PP-G einen etwas geringeren MVR-Wert aufweist als das Vergleichsmaterial ALTECH PP-H A 1000/546 FR und somit in der Schmelze etwas zähfließender sein wird. Daher kann bei PP-G von einer höheren molekularen Masse ausgegangen werden. Möglicherweise ist aus diesem Grund bei PP-G der Kristallisationsgrad niedriger, da bei einer höheren molekularen Masse die einzelnen Polymerketten weniger Möglichkeit haben sich in Form von Lamellenkristalle anzuordnen. Zumindest würde das die niedrigeren Werte für den E-Modul ( $\Delta$  100 MPa) und der Streckspannung ( $\Delta$  13 MPa) erklären. Während das Vergleichsmaterial Spannungen von 35 MPa erträgt ohne zu fließen, sollte PP-G nicht mit mehr als 22 MPa beaufschlagt werden, um ein Kaltverstrecken des Materials zu vermeiden. Eine höhere molekulare Masse lässt einen Kunststoff weiterhin mehr Energie bei schlagartiger Belastung absorbieren. Der Unterschied innerhalb der Kerbschlagzähigkeiten sind jedoch so gering ( $\Delta$  0,1kJ/m<sup>2</sup>), dass hier das Argument der höheren molekularen Masse bei PP-G wohl nicht zutrifft. Gleiches gilt bei der Betrachtung der Bruchdehnungswerte. Diese müssten, laut der Literatur, bei steigender molekularen Masse zunehmen. Beim Vergleich der Materialien wird jedoch deutlich, dass die Anforderungen an ein frei gewähltes Produkt, welches mit ALTECH PP-H A 1000/546 FR gefertigt wird, durch das rezyklierte PP-G nahezu erfüllt werden kann.

#### 18.4.3.4.4 PP-K und ALTECH PP-H A 1000/620 UV-PP

Bei dem Vergleichsmaterial ALTECH PP-H A 1000/120 UV des Herstellers ALBIS Plastic GmbH handelt es sich um ein UV stabilisiertes und hitzebeständiges Polypropylen-Homopolymer, welches sich für die Verarbeitung im Spritzgussprozess eignet. Tabelle zeigt die Gegenüberstellung der mechanischen Kennwerte.

Eigenschaften	PP-K	ALTECH PP-H A 1000/120 UV
MVR [cm <sup>3</sup> /10 min]	28	27
E-Modul [MPa]	1540	1200
Zugfestigkeit [MPa]	27	30
Bruchdehnung [%]	19	100
Kerbschlagzähigkeit [kJ/m <sup>2</sup> ]	2,9	10

**Tabelle 34: Gegenüberstellung mechanischer Daten von PP-K und ALTECH PP-H A 1000/120 UV ausgehend von vergleichbarem MVR (ALBIS, 2016)**

Entsprechend Tabelle 34 ist zu erkennen, dass das rezyklierte Material PP-K ähnlich gute mechanische Eigenschaften aufweist wie die Neuware ALTECH PP-H A 1000/120 UV. Der MVR-Wert liegt mit 28 cm<sup>3</sup>/10 min etwas höher, was auf eine geringe molekulare Masse schließen lässt. Wie bereits oben geschildert, ist bei dem untersuchten Material nicht bekannt, ob es bereits mehrfach rezykliert wurde. Aus diesem Grund könnte die geringere molekulare Masse auch in einer Alterung des Materials begründet sein. Der E-Modul ist verglichen mit der Neuware um 340 MPa höher. Somit zeigt PP-K einen höheren Widerstand gegenüber Verformung. In der Regel zeigen Polyolefine eine ausgeprägte Streckgrenze. Da dieser doch relativ wichtige Wert für Konstrukteure beim Vergleichsmaterial nicht

aufgeführt wird, ist davon auszugehen, dass im Zugversuch keine ermittelt wurde. Hingegen ist die Zugfestigkeit als maximaler Spannungswert, welcher im Zugversuch ermittelt wird, angegeben. Dieser ist beim Vergleichsmaterial um 3 MPa höher. Auch bei der Kerbschlagzähigkeit zeigt das Vergleichsmaterial bessere Werte und ist um ca. 7 kJ/m<sup>2</sup> schlagzäher als das rezyklierte Material PP-K. Diese Beobachtungen stimmen mit der Aussage in der Literatur überein, wonach diese Veränderung mit der Degradation (Verringerung der molekularen Masse) als Folge des werkstofflichen Recyclings begründet ist. Weiterhin ist durch den Abbau der molekularen Masse die verringerte Bruchdehnung begründet. Auch diese Aussage kann durch die vorliegenden Ergebnisse untermauert werden. Die Bruchdehnung von PP-K ist um ca. 80 % geringer als beim Vergleichsmaterial. In Bezug auf mögliche Anwendungen muss die geringere Kerbschlagzähigkeit berücksichtigt werden. So eignet sich das rezyklierte PP-K weniger für Produkte, die häufig schlagartiger Belastung ausgesetzt sind, als das Vergleichsmaterial ALTECH PP-H A 1000/120 UV. Jedoch hält es große Belastungen aus ohne sich zu verformen, wie der hohe E-Modul beweist.

#### 18.4.4 Ausblick – Thema Kunststoff

Die gewonnenen Erkenntnisse werfen Fragen auf. Diese können nur durch weitere Untersuchungen geklärt werden. Viele Auffälligkeiten oder auch Unterschiede zwischen den Versuchsreihen werden in der Diskussion mit der molekularen Masse begründet. Doch gerade im Bereich der Kunststoffe spielen viele Parameter eine Rolle. Neben der molekularen Masse haben auch die Dichte sowie der Kristallisationsgrad der Materialien, Füllstoffe, Verstärkungsstoffe oder andere Additive erheblichen Einfluss auf die getesteten Eigenschaften. Um geäußerte Vermutungen zu untermauern oder zu widerlegen, sind folgende Untersuchungen von besonderem Interesse:

- Bestimmung der molekularen Masse durch Relativmethoden wie Gelpermeationschromatographie oder Viskosimetrie.
- Bestimmung charakteristischer Glasübergangstemperaturen, um zu untersuchen welche Polymertypen (PE-LD, PE-MD, PE-HD, i-PP, a-PP, s-PP) vorliegen oder zumindest Aussagen darüber zu treffen ob Polymertypen gemischt in der Versuchsreihe vorkommen. Dies ließe wiederum Aussagen über deren Kompatibilität zu. Geeignete Untersuchungsmethoden wären die dynamisch mechanische Analyse oder die dynamische Differenzkalorimetrie.
- Bestimmung des anorganischen Füllstoffgehalts durch Thermogravimetrie.
- Bestimmung der Dichte im Trockenzustand durch beispielsweise dem Auftriebsverfahren.
- Bestimmung des Kristallisationsgrades durch dynamische Differenzkalorimetrie.

Natürlich wäre es interessant durch weitergehende Analysemethoden die Rezyklate genauer zu charakterisieren. Das Hauptziel dieser Untersuchung besteht jedoch darin, zu prüfen, ob durch die angewandte Sortiermethode Kunststoffe generiert werden können, die für eventuelle Abnehmer ein Produkt guter Qualität darstellen.

Durch die Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Altkunststoffe, so wie sie im Sperrmüll anfallen nach entsprechender Vorbehandlung (Sortierung, Zerkleinerung, Reinigung und Extrusion) durchaus als Sekundärmaterial für bestimmte Anwendungen in Frage kommen. Es gilt zu prüfen, ob, abgesehen vom ökologischen Gedanken, eine wie hier durchgeführte Sortierung auch aus ökonomischer Sicht umzusetzen ist. Also, ob der Mehraufwand einer tiefergehenden Sortierung durch den Erlös gedeckt werden kann.

Allein durch die getrennte Sammlung und somit durch die Vermeidung der Fraktionierung, konnte die Ausbeute an Altkunststoffen im kommunalen Bereich um 0,8 % angehoben werden. Die Verwertungsquote in diesem Bereich sollte, gemäß formulierter Ziele im Forschungsantrag, um 66,7 %, gesteigert werden. Dieses Ziel wurde nicht gänzlich erreicht. Dennoch kann eine Steigerung von 50,3 % als durchaus positiv gewertet werden.

Es hat sich gezeigt, dass die getrennte Sammlung wirtschaftlich nicht tragbar ist (Kapitel 16). Demzufolge sollte weiterhin nach Wegen gesucht werden auf kostengünstigere Art ein Getrennterfassen der Altkunststoffe zu realisieren. Beispielsweise durch angebrachte Extrabehälter für Kunststoffe am Pressfahrzeug oder durch gesonderte Abholtermine für Kunststoffe, evtl. verbunden mit der Erfassung von Elektro- und Elektronikschrott.

Ein anderer Aspekt, der aus wirtschaftlicher Sicht geprüft werden muss, ist die nachfolgende Sortierung der gemischten Altkunststoffe. Es wurde zunächst eine Trennung nach Gut-Schlecht-Listen durchgeführt, durch welche sich zeigte, dass die anteilig 70 %-ige Gutfraktion tatsächlich zu 90 % aus verwertbaren Polyolefinen besteht und die anderen 10 % ebenfalls Thermoplaste darstellen, welche sich für eine werkstoffliche Verwertung eignen. Es wurden stichprobenartig 350 kg nach diesen Listen sortiert. 245 kg Gutteile konnten innerhalb von 1,5 Stunden durch einen einzelnen Mitarbeiter erfasst werden. Unter der Annahme, dass diese Stichprobe repräsentativ ist, müssten ca. 1.430 kg Altkunststoffe zur Sortierung bereit stehen, um eine Tonne Kunststoffe zu generieren, die zu 90 % aus Polyolefinen und zu 100 % aus Thermoplasten besteht.

Unter der Voraussetzung, dass ein beliebiger Mitarbeiter in vergleichbarer Geschwindigkeit sortiert, würde es bedeuten, dass er ca. 6 Stunden benötigt, um die 1430 kg zu separieren. Bei einem Stundenlohn von 20 Euro (inkl. Lohnzusatzkosten, Gemeinkosten und Mehrwertsteuer) würden die Kosten somit bei ca. 180 Euro liegen. Das bedeutet, dass mindestens 180 Euro Erlös für eine Tonne Altkunststoff dieser Zusammensetzung erwirtschaftet werden müssen, um allein die Aufwendungen der Sortierung zu decken. Transportkosten zu eventuellen Abnehmern bleiben an dieser Stelle noch unberücksichtigt. Natürlich muss bedacht werden, dass die Sortierung in dieser Form das erste Mal erfolgte und ein geübtes Auge schneller zu sortieren vermag.

Im Bereich der gewerblichen Altkunststoffe zeigte sich, dass die Vielfalt anfallender Produkte deutlich geringer ist. Zudem werden diese gesondert angeliefert und liegen meist unbeschädigt vor. Hier macht es definitiv Sinn jede Anlieferung kurz zu begutachten. Ist ein großer Anteil Kunststoffe enthalten, kann schnell und einfach durch Ablesen des meist aufgebrachten Recyclingcodes die Kunststoffsorte ausgemacht werden. Die Sortierung nach Kunststoffsorten ist somit wenig problematisch.

Eine andere Option ist, den gewerblichen Selbstanlieferer zur Getrenntanlieferung zu bewegen. Diesbezüglich sei ein Hinweis auf Gartenbaubetriebe erlaubt. Es ist in dieser Branche bereits üblich, dass ausgediente Kunststoff-pflanzschalen, -blumenkübel etc. vorsortiert der Wiederverwertung zugeführt werden. Von Seiten der Erfasser könnten für andere Produktarten entsprechende Erfassungssysteme (beispielsweise für Kunststoffeimer (Malereimer), Folien, Transportkästen etc.) organisiert werden.

Je nachdem, ob und wie eine tiefergehende Sortierung der Altkunststoffe zukünftig aussehen soll, wird deutlich, dass eine Schulung der Mitarbeiter unumgänglich ist. Sie müssen dafür sensibilisiert werden, welche Kunststoffe hochwertig stofflich zu verwerten sind und welche anderen Verwertungswegen zugeführt werden sollten. Das beinhaltet eine Auseinandersetzung mit den vorgestellten Gut-Schlecht-Listen sowie dem Recyclingcode.

Zudem muss der Platzbedarf für eine tiefergehende Sortierung geprüft werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass im Schnitt rund 400 kg Kunststoffe aus dem kommunalen Bereich täglich bei der OAG abgeliefert werden. Um eine ausreichende Menge an gutem Material für den Transport zu generieren, ist eine Zwischenlagerung unausweichlich.

### **19 F&E-Versuch - Gezielte Sortierung von begleitend mit Sperrmüll- und Kastenfahrzeug getrennt erfasstem Sperrmüll sowie gezielte Sortierung von Stoffströmen aus Zerkleinerungsversuchen**

Die gezielte Sortierung von - mit einem Sperrmüllfahrzeug und begleitend mit einem Kastenfahrzeug - getrennt erfasstem Sperrmüll sowie die gezielte Zerkleinerung von Verbundmaterialien und Sortierung dieser Stoffströme war der 2. Schritt im Rahmen der Sortieranalysen.



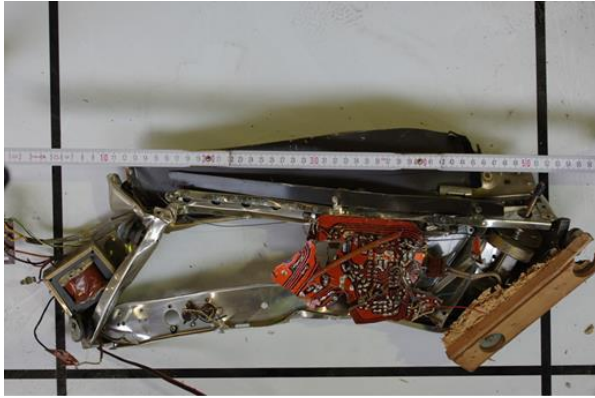
**Bild 35: Verbundkonstruktionen zur Vorzerkleinerung**

Die Ziele der Zerkleinerungsversuche sind folgende:

- Aufschluss der „Verbundkonstruktionen“ (Bild 35 ) in sortierfähige Fraktionen, dabei
- Feststellung der „best verfügbaren“ Zerkleinerungstechnik (Messer-/Backentechnik, Anzahl der Messer-/Backen, Gleichmäßigkeit der zu erzielenden Teilstückgrößen)
- Feststellung der Begrenzung der Universalität der Zerkleinerungsaggregate bezogen auf unterschiedliche Materialien / Materialzusammensetzungen

Die Notwendigkeit des Aufschlusses der „Verbundkonstruktionen“ in sortierfähige Fraktionen ist wie folgt zu begründen.

Auf den folgenden Bildern 36 und 37 erkennt man deutlich, dass innerhalb eines Produktes verschiedene Stoffgruppen vertreten sind. An dem Bauteil Bild 36 - vermutlich einem alten Musikschrank - sind die Stoffgruppen Holz, Metall, Elektro-/Elektronikelemente, und Kunststoff verbaut. Eine solche Mischung von Materialgruppen ist auch im Sperrmüll keine Seltenheit. Beispielsweise bestehen Stühle häufig gleichzeitig aus Holz, Metall, Kunststoff, Textilien und Schaumstoffen. Diese Materialgruppen sind wegen der gewünschten Stabilität im Gebrauch oftmals fest miteinander verbunden, sei es durch Verklebungen, Verschraubungen oder durch Krampen. Das stellt die Entsorger/Aufbereiter vor große Herausforderung eine sortenreine Trennung durchzuführen. Unter Zuhilfenahme von Shreddern und anschließender Sortierung des Shredderguts könnte eine weitere Aufschlüsselung solcher Verbundwerkstoffe auch aus wirtschaftlicher Sicht realisiert werden.



**Bild 36: Metallverbund (Elektronik)**



**Bild 37: Polsterverbund**

Die folgenden Bilder 38 – 44 zeigen das Ergebnis des Versuches mit dem Zerkleinerer der Firma METSO. Weitere Versuche wurden mit Zerkleinerern der Firmen VECO-plan, HAAS und LINDNER gefahren.

Eine erste Sichtung der Fraktionen erfolgte nach der Zerkleinerung auf Zerkleinerungs- und Freisetzungsgrad, Sauberkeit und Qualität. Die Ergebnisse sind Basis für die Entscheidungen bezüglich der möglich zu planenden Anlagenvarianten.



**Bild 38: Freigeschlagenes Kunststoffobjekt – hier Kunststoff (PE)**



**Bild 39: Freigeschlagenes Metallobjekt – hier Metall mit Holzrestanhaftung**



**Bild 40: Freigeschlagenes Metallobjekt – hier Metall (Konstruktionselement Möbel) mit PUR-Schaumrestanhaftung**



**Bild 41: Zerkleinerte Polsterfederstrukturen– hier Metall (Konstruktionselement Polstermöbel) Nestbildung mit Anhaftungen**



**Bild 42: Freigeschlagenes Metallobjekt aus Edelstahl (n.n.) – hier ohne Anhaftungen**



**Bild 43: Grobstückiger PUR – Schaum – hier PUR-Schaum (Konstruktionselement Polstermöbel), Sichtung auf Sortierfähigkeit**



**Bild 44: Zerkleinerte Taschenfederstrukturen – hier Metall (Konstruktionselement Taschenfedern) mit textilen Anhaftungen**

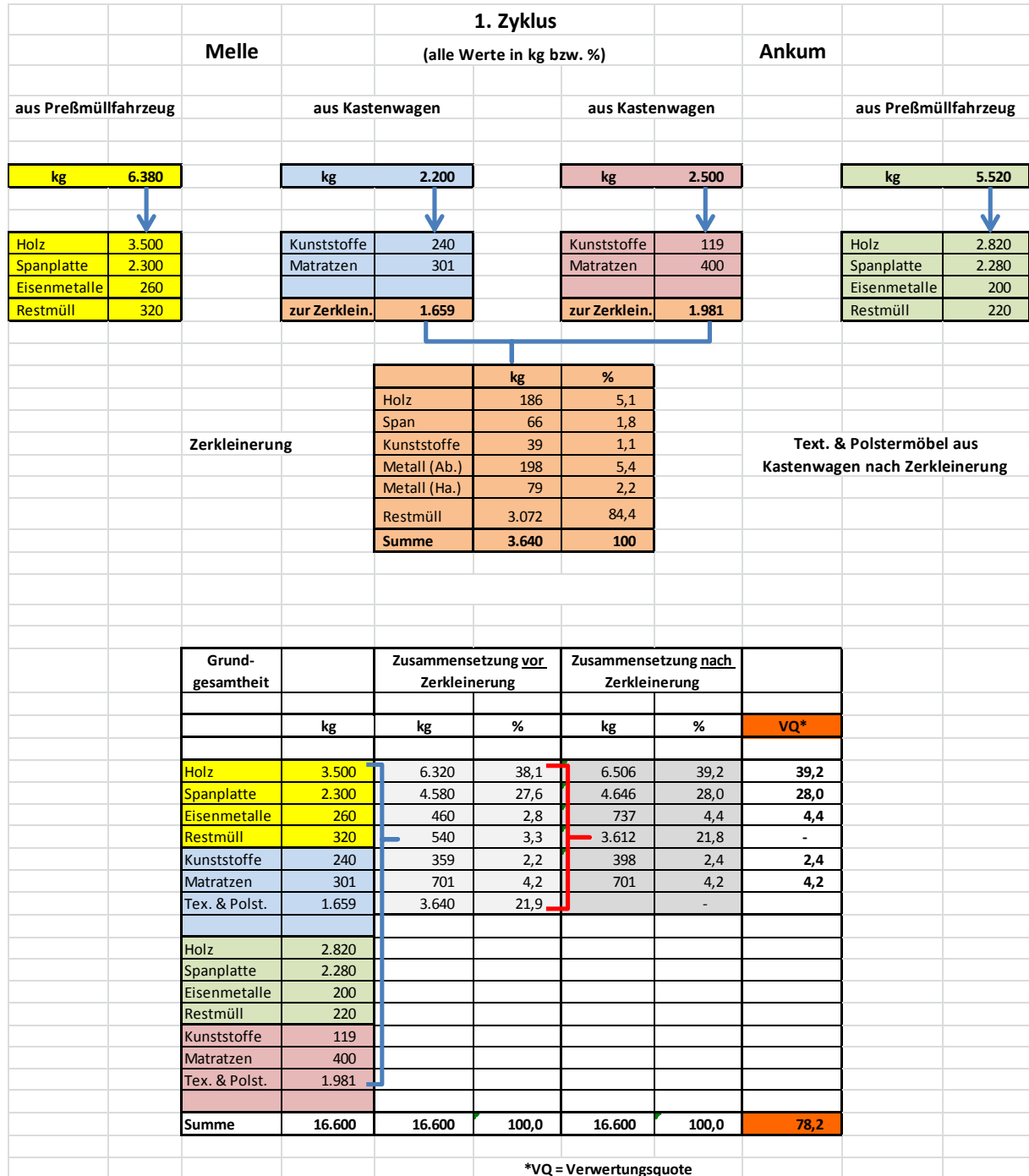
Die erste Sichtung der Fraktionen nach der Zerkleinerung mit den Shredder-Aggregaten auf Zerkleinerungs- und Freisetzungsgrad, Sauberkeit und Qualität sowie weitere Sichtung auf Sortierfähigkeit (Größe) ergab die in den Bildern 38 - 44 dokumentierte Situation.

Die Erkenntnisse aus den Versuchen zeigen folgendes auf:

- **Durchsatz** zur Zerkleinerung – problemlos **bis 20 Mg/h**
- **Zerkleinerungsgrad** – entsprechend Messersatz bezogen auf händische Nachsortierung **grenzwertig**, da teilweise zu klein
- **Freisetzungsgrad** – augenscheinlich gut, **Probleme** treten **bei Polsterfederdrähten** auf, hier kommt es zu unerwünschten „**Nestbildungen**“, die z. B. die Fe-Scheidung behindern und das abgeschiedene Metall verunreinigen
- **Sauberkeit** - augenscheinlich gut, mit **teilweisen Verbund-Resten und Fremdanhaftungen**
- **Qualitäten** – sind durch Analytik noch **zu prüfen**
- Diskussion und **Abstimmung** mit den Maschinenherstellern **bezüglich der Messerbestückung ist** notwendig und **entscheidend für die Leistungsfähigkeit und Ergebnisse der Zerkleinerung**

**19.1 Ergebnis der gezielten Sortierung von begleitend mit Sperrmüll- und Kastenfahrzeug getrennt erfasstem Sperrmüll**

In Zahlen ergeben sich die in den folgenden Bildern 45 - 47 dargestellten Ergebnisse als „Sortierbaum“.



**Bild 45: „Sortierbaum“ - Gezielte Sortierung von getrennt erfasstem Sperrmüll einschließlich gezielter Sortierung von Stoffströmen aus Zerkleinerungsversuchen**





Material	1. Zerkl. reguläres Material		2. Zerkl. reguläres Material		3. Zerkl. reguläres Material	
	Masse	Anteil	Masse	Anteil	Masse	Anteil
	kg	%	kg	%	kg	%
Holz	195,00	7,6	474,00	2,8	121,00	4,1
Spanplatte	39,50	1,5	164,00	1,0	39,00	1,3
Metalle	341,00	13,3	822,00	4,8	330,00	11,2
Kunststoffe	5,50	0,2	127,00	0,7	9,00	0,3
<b>Sortierreste</b>	<b>1.979,00</b>	<b>77,3</b>	<b>15.514,00</b>	<b>90,7</b>	<b>2.441,00</b>	<b>83,0</b>
Aufgabe	2.560,00	100,0	17.101,00	100,0	2.940,00	100,0

**Tabelle 35: Sortieranalyse von konventionell gesammeltem Sperrmüll aus Zerkleinerungsversuchen**

Folgende Bemerkungen sind an dieser Stelle zulässig:

- Die getrennte Sammlung ermöglicht eine stoffgerechte Erfassung zur Verbesserung der Werkstoffausbeute, Kontaminationen werden vermieden, Hand-sortiergerechte Strukturen bleiben erhalten, die getrennte Erfassung verursacht aber überproportional hohe Kosten. (siehe Kapitel 19).
- Der mechanische Aufschluss von Verbundmaterialien ist möglich, fraglich ist nur der Wirkungsgrad bezogen auf die gesamt-werkstoffliche Verwertung, wenn auf eine automatisierte weitere Sortierung aus Kostengründen verzichtet wird.
- Der mechanische Aufschluss von Verbundmaterialien hilft Metalle aus Verbundobjekten freizusetzen und ein Ausgangsmaterial für Ersatzbrennstoffe herzustellen.
- Wissen um die Schadstofferkennung, haptische und optische Merkmale verbessern die Qualität der Sortierung (siehe Holz).

## **20 Einsatz von Sortieranlagen Besuchte Anlagen (Ziele dieser Anlagen, Produkte)**

### **20.1 Wiefels Nehlsen => EBS (Holzausschleusung) (22)**

Die Anlage in Wiefels (Bild 48) dient zur Sortierung und Aufbereitung von Sperrmüll, z. Zt. werden 50.000 Mg/a sortiert; möglich sind im 1,5 Schichtbetrieb 60.000 Mg/a.

Bei der Art der Anlage handelt es sich um eine relativ komplexe Anlage zur Sortierung und Aufbereitung von kommunalem sowie gewerblichem Sperrmüll und der Verwertung von Sortierresten. Der Einsatz von sortenreinen Produktionsabfällen dient zur Verbesserung des Heizwertes der hergestellten EBS-Fraktion.



**Bild 48: Blick in die Anlage Wiefels**

### **20.1.1 Die Ausstattung der Anlage in der Kurzbeschreibung**

- Baggervorsortierung
- Zerkleinerer  $\leq 250$  mm
- Magnetscheider
- Siebstufen,  $< > 50$  mm
- Querstromsichter, leicht, schwer für beide Siebfraktionen
- NIR-Sortierer für Leichtfraktion (PVC-Ausschleusung, Entlastung der Ersatzbrennstoffe (EBS) von möglichen CL-Belastungen)
- NE-Scheider
- Diverse Brecher zum Holzaufschluss
- Sortierkabine
- Spezielle Bänder zum Ausschleusen und Umsteuern (Aufbereitungsziele, Variabilität, Probleme bei Störungen (ausgeschleustes Material neu einbringen))

### **20.1.2 Wesentliche Erkenntnisse**

- Ab  $! > 40.000$  Mg/a erscheinen technisch aufwendigere Anlagen in Bau und Betrieb finanzierbar soweit eine Zuzahlung aus Entsorgungskosten erwartet werden kann.
- Die Anlage in Wiefels ist technisch überholt; „Best verfügbare Technik“ wird von den bekannten Anlagenherstellern geliefert.
- Zur Verbesserung der Materialtrennung wird hoch komplexe NIR-Technologie eingesetzt, die Form- und Materialerkennung (Kamera & Scanner) ermöglicht.
- Die Brandmeldetechnik ist unterschiedlich installiert, entsprechend der Gefährdungspotentiale und Brandentstehungsart (optisch, sensorisch); wichtig ist z. B. bei Shreddereinsätzen die Einsicht des Baggerführers in den Aufgabetrichter (Hochsitzposition) und Möglichkeit der Fernauslösung von Löschmaßnahmen (Stoppen der Anlage, Auslösen des Löschgerätes).
- Die notwendige Entstaubung sollte gezielt direkt an Maschinen vorgenommen werden (Absaugung oder Nebeltechnik (Shredder)).
- Die Materiallagerung und der Stoffstrom von der Aufgabe bis zur Bunkerung der Produkte sind logistisch aufeinander abzustimmen.

### **20.1.3 Ergebnis**

- Über komplexere Anlagen mit vorgeschalteter Baggersortierung kann eine höhere Ausbeute an Werkstoffen erreicht und ein qualitativ hochwertigerer Ersatzbrennstoff erzeugt werden.
- Der Mindestdurchsatz definiert sich über die Investition, die Betriebskosten, den Zuzahlungen aus Entsorgungsentgelten und evtl. Erlösen aus den Sortier- und Aufbereitungsprodukten.
- Die Novelle der Gewerbeabfall-VO kann neue Chancen im Zusammenhang mit steigenden MV-Preisen für regionale Sortieranlagen bieten, kritische Kapazitätsschwellen zu erreichen (Verbundanlagen für mehrere interessierte Gesellschafter).

## **20.2 Gewerbeabfallaufbereitungsanlage (GAA) der Gesellschaft im Ostalbkreis für Abfallbewirtschaftung mbH (GOA) in Ellert (23)**

30 % der Anlieferungen werden vor Aufgabe in den mechanischen Teil der Anlage als Wertstoffe (zum Beispiel Holz, Metalle, Problemstoffe, mineralische Stoffe und PVC-Teile) aussortiert.

Ziel der folgenden Aufbereitungsanlage ist, aus dem angelieferten und vorsortierten Sperrmüll und Gewerbeabfall Ersatzbrennstoff (EBS) zu gewinnen (50% der Anlieferung)

### 20.2.1 Die Ausstattung der Anlage in der Kurzbeschreibung

- Zerkleinerung in Shredder
- Transport per Förderband in die Sortieranlage.
- Ballistik-Separator zur Materialstromtrennung in drei Fraktionen
  - rollend/schwer (Steine, Holz, Dosen),
  - flächig/leicht (Folien, Textilien, Papier) und
  - mineralische Feinfraktion.
- Folgend Sortierung nach Gewicht und Form
- Fe - Magnetscheider, NE-Abscheider
- Einsatz von Nahinfrarotspektroskopie (NIR) mit insgesamt vier Geräten zur Sortierung von bis zu 4 verschiedenen Kunststofffraktionen

20 Prozent der angelieferten Abfälle werden nach Sortierung und Aufbereitung zur thermischen Verwertung in ein MHKW Müllverbrennungsanlage geliefert

### 20.2.2 Produktion von Ersatzbrennstoffen

In der Anlage werden qualitativ hochwertige Ersatz-Brennstoffe erzeugt, dieses sind:

- Hochkalorischer EBS in Form von Fluff (< 20 mm, mindestens 17.000 Kilojoule/kg)
- Mittelkalorischer EBS in verschiedenen Stückgrößen (< 80 mm und < 250 mm, Heizwert zwischen 11.000 und 16.000 Kilojoule/kg).

Das aktuelle Produktspektrum der Anlage ist der folgenden Tabelle 36 zu entnehmen.

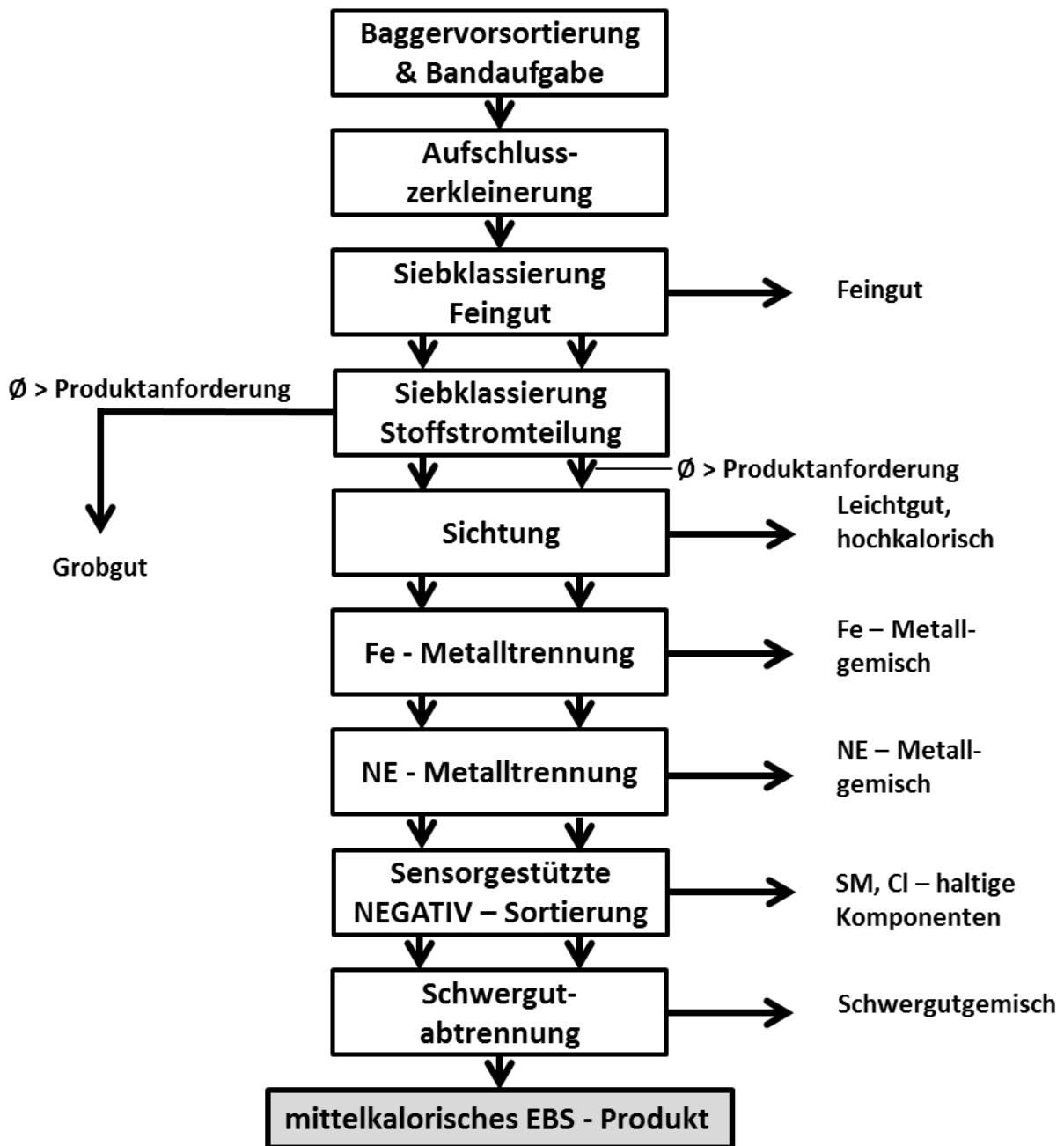
	<b>Körnung</b>	<b>Chlorgehalt</b>	<b>Heizwert</b>
<b>Fluff</b>	< 20 mm	< 0,7 %	ca. 22.000 - 24.000 kJ/Kg
<b>Mittelkalorik</b>	< 80 mm	< 1,0 %	ca. 18.000 kJ/Kg
<b>Mittelkalorik</b>	< 250 mm	< 1,0 %	ca. 14.000 - 16.000 kJ/Kg

**Tabelle 36: Produktspektrum der Anlage Ellert**

### 20.3 Bochum Sortier und Aufbereitungsanlage des EKOCity-Verbundes (24)

Die Sortierung, Aufbereitung und Verwertung von Sperrmüll aus dem EKOCity-Verbund - jährl. Kapazität 70.000 Mg - erfolgt in Bochum, mit dem Ziel der Bereitstellung von Holz, Metallen sowie Ersatzbrennstoffen.

Die Abfallbehandlung umfasst die folgenden Behandlungsstufen (vgl. Bild 49):



**Bild 49: Sortierung und Verwertung von Sperrmüll aus dem EKOCity-Verbund**

Die Anlage EKOCity-Verbund beinhaltet folgende Prozesse:

### 20.3.1 Vorsortieren

Große Abfallteile, wie z. B. Möbel und Matratzen, werden durch Baggersortierung entnommen, so dass sperrige nicht maschinell einfach aufzubereitende Teile entfernt werden, um die Funktion der Anlage zu sichern.

### **20.3.2 Zerkleinern**

Bedingung für die gewünschten Aufbereitungsziele ist die prozessorientierte Zerkleinerung in das benötigte Kornspektrum.

### **20.3.3 Sieben und weitere Stoffstromtrennung**

- Der Zerkleinerung folgt die Siebung in die benötigten Siebschnitte
- Windsichtung der Leichtfraktion zur Trennung in Leicht (energiereichen – Kunststoffe) – Schwer-Fraktionen

### **20.3.4 Trennen**

- Fe-Separierung über Elektromagnete (Magnetscheider)
- NIR-Sortierung CL-haltiger Stoffe (z. B. hier PVC)
- Wirbelstromscheider zur Abscheidung von nicht-magnetischen Metallen – wie z. B. Aluminium aus der Schwerfraktion

### **20.3.5 Verwertung der Fraktionen**

Produziert werden:

- Ersatzbrennstoffe (EBS) zur energetischen Nutzung als Ersatzbrennstoff zur Gewinnung von Energie in Biomassekraftwerken
- Metalle zur werkstofflichen Wiederverwendung
- Reststoffe aus dem Sortierprozess werden zur thermischen Verwertung in MHKW's eingesetzt

## **21 Status Quo von Sortiersystematiken und Entwicklungsmöglichkeiten**

Wie bereits geschildert werden im Ablauf des Normalbetriebes der Anlage der OAG in Osnabrück nach dem Abladen des Sperrmülls in das Eingangslager üblicherweise Großteile wie zum Beispiel Metalle, Teppiche/Teppichböden und Matratzen sowie Verbunde durch Baggersortierung dem Gemisch entnommen.

Das zur Sortierung vorgesehene Material des Sperrmülls wird nach der Baggervorzerkleinerung zunächst einer Metallabscheidung zugeführt. Das von Eisenmetallen entfrachtete Gemisch wird dann auf ein Sortierband übergeben, an dem geschulte Mitarbeiter die manuelle Sortierung des restlichen Sperrmülls vornehmen.

Die größte Verwertungs-Fraktion ist das Altholz, gefolgt von den Metallen und Mischkunststoffen (siehe Tabelle ... ). Die Aussortierung erfolgt derzeit nur zu wirtschaftlich darstellbaren Konditionen, sodass aktuell verwertbare Wertstoffe verloren gehen.

Neben vielen Details kann in einer ersten Zusammenfassung folgendes festgehalten werden:

- Die „Best verfügbare Technik“ wird von den bekannten deutschen, aber auch „EU“ Anlagenherstellern geboten und in Komplettanlagen geliefert.
- Die NIR-Technologie ist heute hoch komplex; dabei sind Form- und Materialerkennung (Kamera & Scanner) kombinierbar möglich.
- Die erforderliche Brandmeldetechnik (optisch, sensorisch) ist unterschiedlich, entsprechend des Gefährdungspotentials und möglicher Brandentstehungsarten zu planen. Im Fall der Anlagenbeschickung durch Bagger ist es wichtig, dass bei der Shredderbeschickung der Bagger-

fürher Einsicht in den Aufgabetrichter hat (Hochsitzposition) und damit die Möglichkeit, Brände in ihrer Entstehung zu erkennen und die Fernauslösung von Löschmaßnahmen (Stoppen der Anlage, Auslösen des Löschgerätes) vorzunehmen.

- Notwendige Entstaubungsmaßnahmen sind gezielt direkt an Maschinen und damit an den staubrelevanten Bereichen der Anlagen vorzunehmen, Absaugung oder Nebeltechnik (Shredder).
- Sowohl aus Emissionsschutzgründen wie auch aus Qualitätsgründen sollte die Materiallagerung von der Aufgabe bis Bunkerung nach dem Grundsatz „alles unter Dach“ geplant sein.
- Ab ! > 40.000 Mg/a erscheinen technisch aufwendigere Anlagen in Bau und Betrieb finanzierbar soweit Zuzahlung aus Entsorgungskosten mit in die Erlöse eingerechnet werden können, die Anlagen rechnen sich z. Z. nicht selbsttragend aus der Vermarktung der sortierten und Aufbereiteten Stoffströme.

Für die Übertragung auf interessierte Gebietskörperschaften und Investoren gilt:

- Über komplexere Anlagen mit vorgeschalteter Baggersortierung kann eine höhere Ausbeute an Werkstoffen erreicht wie auch ein qualitativ hochwertigerer Ersatzbrennstoff erzeugt werden.
- Der Mindestdurchsatz von Anlagen definiert sich auch bei der Sperrmüllsortierung/-aufbereitung über die Investition, die Betriebskosten, den Zuzahlungen aus Entsorgungsentgelten und evtl. Erlösen aus den Sortier- und Aufbereitungsprodukten.
- Im Rahmen der Gewerbeabfallentsorgung (gewerblicher Sperrmüll) können neue Chancen im Zusammenhang mit steigenden MV-Preisen für regionale Sortieranlagen entstehen, um kritische Kapazitätsschwellen zu erreichen (Verbundanlagen für mehrere interessierte Gesellschafter).

### **21.1 Entwicklung der Aufbereitung**

Aus den bisherigen Ergebnissen lassen sich Aufbereitungsalternativen entwickeln. Die Alternativen sind so geplant, dass sie entsprechend der Marktlage für Sekundärrohstoffe und den Wünschen von Auftraggebern - sowohl technisch wie auch durchsatzmäßig aufbauend auf einer Basisanlage - reagieren können.

### 20.1.1 Basisanlage – Alternative I (AI) – (Bild 50)

- Regeldurchsatz/Schicht 20 – 25.000 Mg/a (Erhöhung bis 40.000 Mg/a möglich)
- Baggervorsortierung (Entnahme von Matratzen, Polstermöbeln, Teppiche, Textilien, Metallen, großen Kunststoffobjekten, Verbundobjekten), Baggervorzerkleinerung
- Aufgabe von Bagger-vorzerkleinertem Materialstrom (Holz, Kunststoffen, Verbundmaterialien etc.) in Anlage mit verbindender Fördertechnik zur Vorsiebung (UK < 180 mm, <40 mm)
- Materialstrom > 180 mm nach Überbandmagnet auf Sortierband für händische Sortierung (beidseitig je 6 Abwurfschächte), folgend reversierbares Band zur Übernahme des Überlaufes
- Materialstrom < 180 mm nach zweitem Überbandmagnet (alternativ) auf Sortierband für händische Kontrollsortierung (beidseitig je 2 Abwurfschächte), folgend reversierbares Band zur Übernahme des Überlaufes
- Materialstrom < 40 mm Restverwertung nach Bedarf

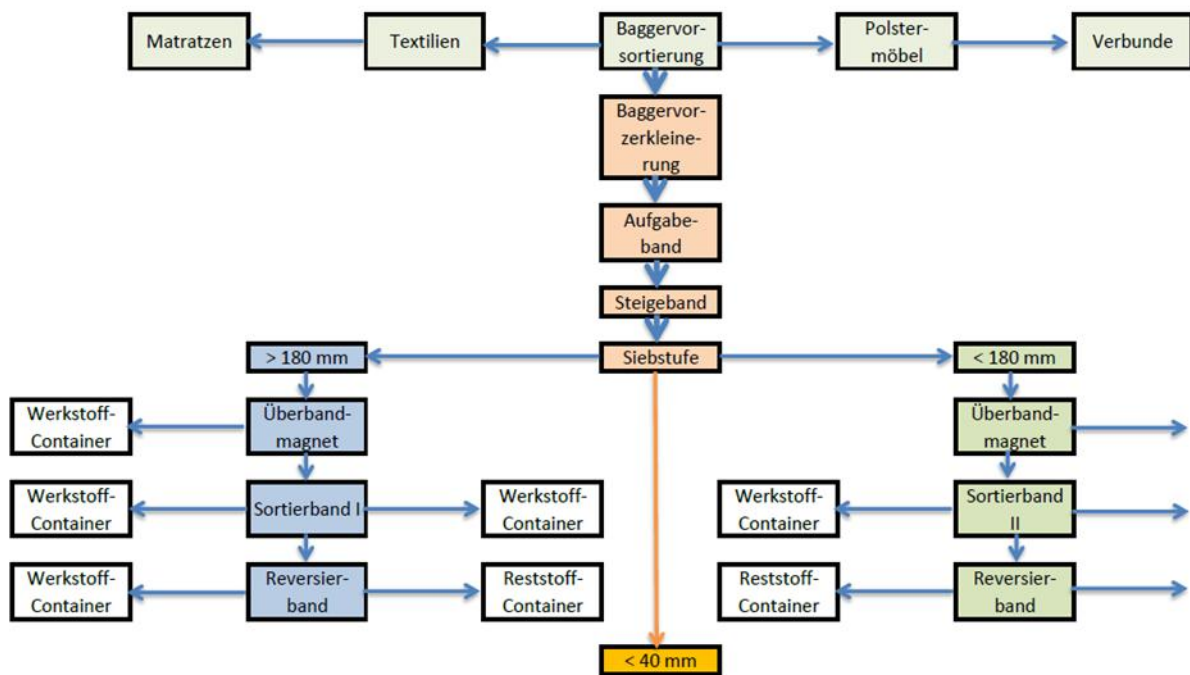


Bild 50: Basisanlage – Alternative I (AI)

20.1.2 Alternative II (AII) – (Bild 51)

- Regeldurchsatz/Schicht 40 – 45.000 Mg/a (Erhöhung bis 60.000 Mg/a möglich)
- Aufbauend auf AI, jedoch mit Windsichtern (schwer/leicht) je Siebfraction, Sortierung Schwerfraktion wie bei AI, Leichtfraktion jeweils auf Kontrollband mit beidseitig je 2 Abwurf-schächten, Zuführung zu einer Nachzerkleinerung (Ø 25 mm) mit nachgeschalteter NIR-Kontrolle auf PVC (Chloride)
- Ziel der Alternative II ist neben der Verbesserung der Ausbeute von Werkstoffen auch die Herstellung eines Ersatzbrennstoffes - Brennstoff aus Müll - (BraM)

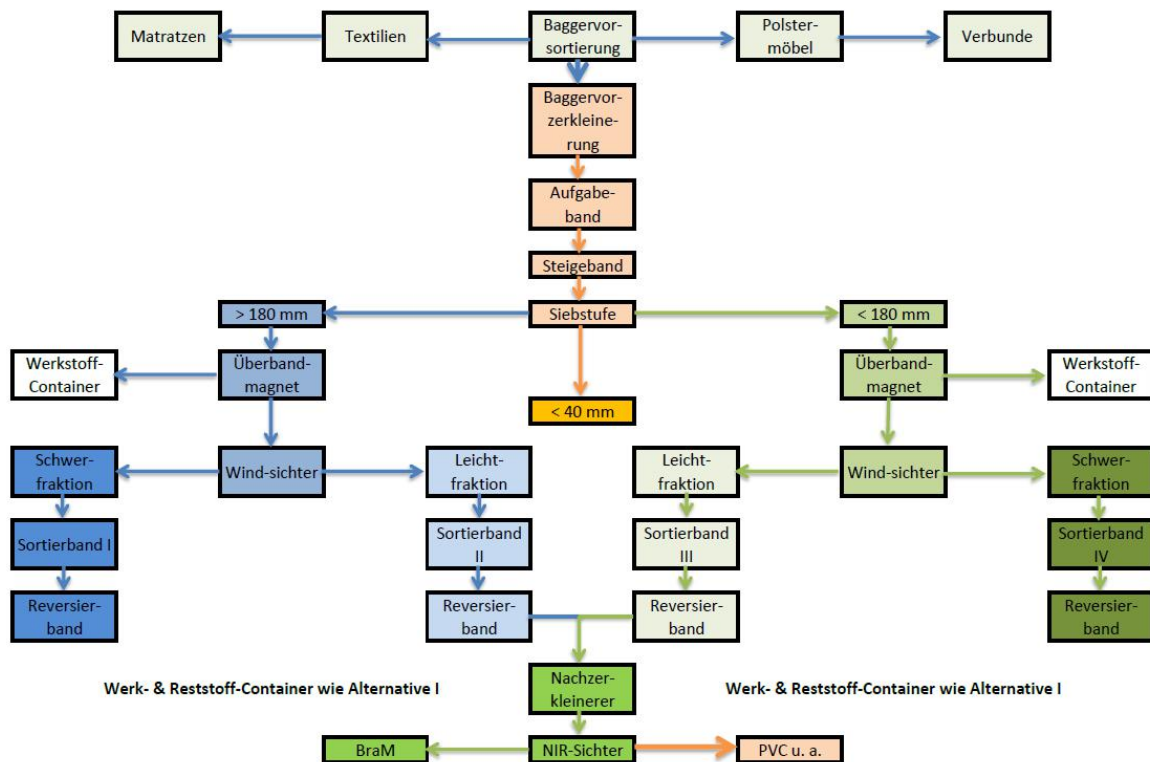
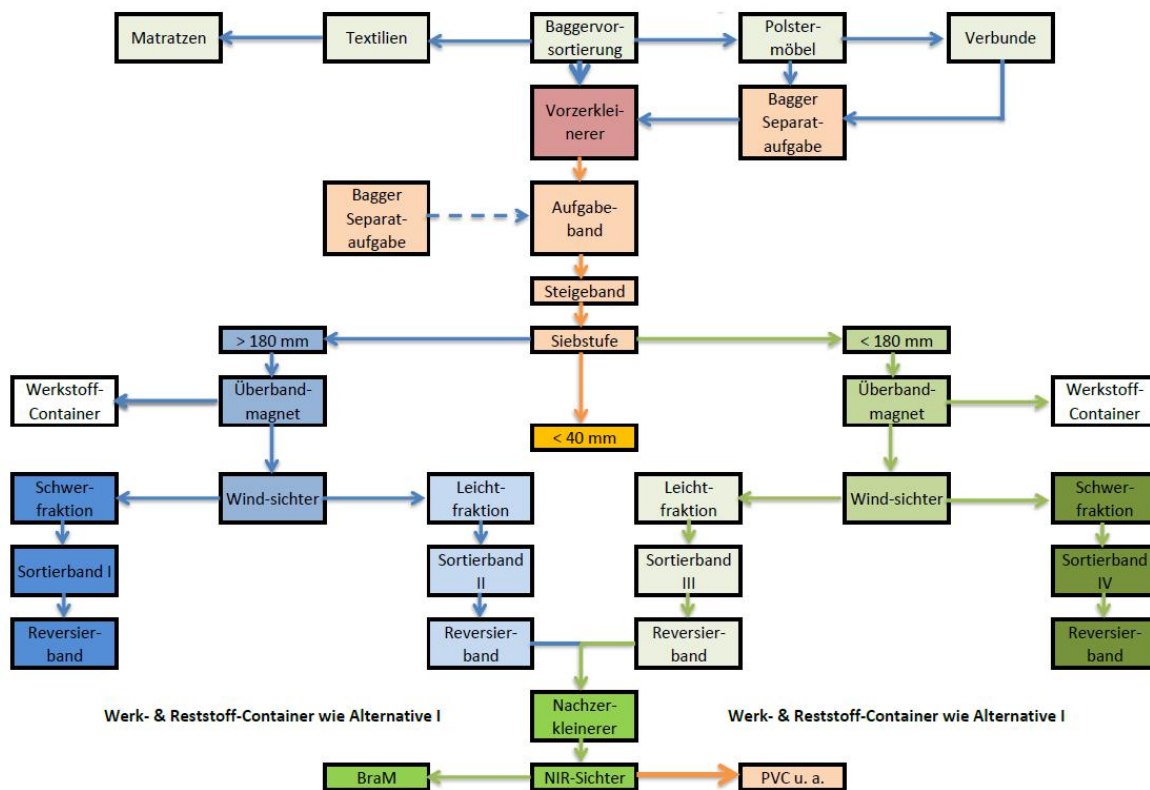


Bild 51: Ausbauanlage – Alternative II (AII)

**20.1.3 Alternative III (AIII) – (Bild 52)**

- Durchsatz > 60.000 Mg/a
- Aufbauend auf AII, jedoch mit „Anlage-mobilem“ Vorzerkleinerer (auch geeignet für Polstermöbel und andere sperrmülltypische Verbundmaterialien), der kurzfristig durch einstellbare Zerkleinerungstechnologie (z. B. Variabilität der Gegenmesser) auf unterschiedliche Materialströme eingestellt werden kann und mit einem integrierten Fe-Scheider ausgestattet ist
- Die Fördertechnologie nach dem Vorzerkleinerer ist so auszulegen, dass sie unabhängig von diesem beschickt werden kann.



**Bild 52: Ausbuanlage – Alternative III (AIII)**

**22 Wirtschaftlichkeit**

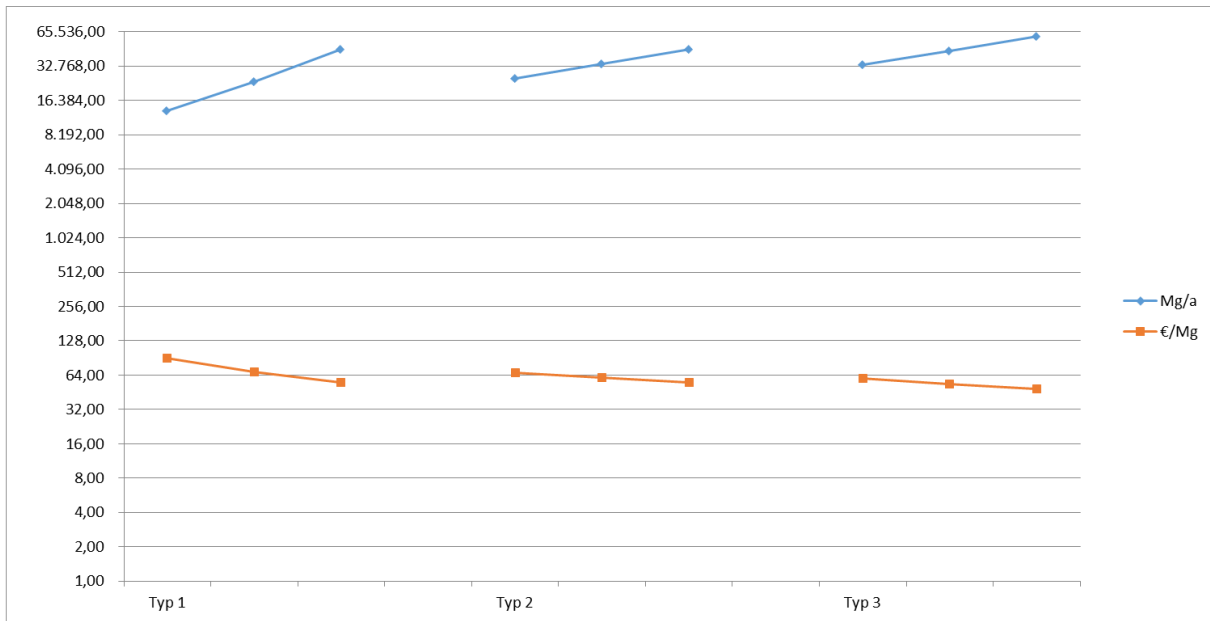
Entsprechend der unterschiedlichen Durchsatzleistungen der Alternativen und der gewünschten Ausbaufähigkeiten ist die Basisanlage bestimmungsgemäß auszulegen.

Ein wichtiger Realisierungsfaktor von Sortier- und Aufbereitungsanlagen ist der Faktor Wirtschaftlichkeit. Die einfachen Zusammenhänge zwischen Investition, Betriebskosten (fix & variabel) und Durchsatz (Stückkosten) sind für die o. dargestellten Alternativen überschlägig in der folgenden Tabelle 37 und im Bild 53 dargestellt.

Endbericht – Sperrmüll, Januar 2017

Nr.	Kostengruppen						
1	Investitionsgruppe	Investition	Abschr.-dauer	Zinssatz	Annuität	Spez. Kosten	Anteil a. Kost.
		€	a	%	€/a	€/Mg	%
1.1	Grundstück	500.000,00	25,00	6	39.113	1,65	
1.2	Vorbereitung und Erschließung	50.000,00	25,00	6	3.911	0,16	
1.3	Baukonstruktion	1.500.000,00	25,00	6	117.340	4,94	
1.4	Maschinentechnische Anlagen	2.500.000,00	25,00	6	195.567	8,23	
1.5	Elektro- und leittechnische Anlagen	150.000,00	25,00	6	11.734	0,49	
1.6	Unvorhergesehenes ( 8% von 1.1-1.5)	376.000,00	25,00	6	29.413	1,24	
1.7	Ansparung Rückbau nach 25a	500.000,00	25,00	3	28.714	1,21	
1.8	Honorare und Gebühren ( 5% von 1.1-1.6)	253.800,00	25,00	6	19.854	0,84	
1.9	Vorfinanzierung (5,00% von 1.1-1.6)	253.800,00	25,00	5	18.008	0,76	
1.10	<b>Gesamtanlage</b>	<b>6.083.600,00</b>			<b>463.654</b>	<b>19,51</b>	<b>28,6</b>
2	<b>Betriebskosten</b>						
2.1	<b>Durchsatzunabhängige Betriebskosten</b>	<b>Bezug</b>	<b>Prozentsatz</b>		<b>Betriebskosten</b>		
		€	%		€/a	€/Mg	
2.1.1	<b>Reparatur, Wartung, Unterhalt</b>						
2.1.1.1	Baukonstruktion	1.550.000,00	1,00	-	15.500	0,65	
2.1.1.2	Masch. Techn.	2.500.000,00	5,00	-	125.000	5,26	
2.1.1.3	Elt. u. Leittechn.	150.000,00	1,50	-	2.250	0,09	
2.1.2	Steuern u. Versicherungen	5.576.000,00	0,50	-	27.880	1,17	
2.1.3	Allgem. Verwaltung (von 2.1.5)	277.057,44	5,00	-	13.853	0,58	
2.1.4	Sonst. Hilfs- u. Betriebsstoffe (-1.1--1.3)	142.750,00	5,00	-	7.138	0,30	
			<b>Anzahl</b>	<b>€/Person</b>			
2.1.5	Personal				277.057	11,66	
2.1.6	<b>Summe durchsatzunabh. Betriebskosten</b>				<b>468.678</b>	<b>19,73</b>	<b>28,9</b>
2.2	<b>Durchsatzabhängige Betriebskosten</b>		<b>M., rel. Einheit</b>	<b>€/rel. Einheit</b>			
2.2.2.1	Diesel (15l/h; 1,4 Maschinen; 1,1 €/l)		41.580,00	1,1	45.738	1,93	
	el. Energie (100 Kw inst.; Betriebslast 75%; 0,25 €/kWh)		148.500,00	0,3	37.125	1,56	
			Mg/a	€/Mg			
2.2.9	<b>Reststoffentsorgung</b>	<b>kg/Mg Abfall</b>					
2.2.9.1	Entsorgung Sortierreste	280,00	6.652,80	84,5	562.162	23,66	
2.2.9.2	Entsorgung Stäube	21,00	498,96	84,5	42.162	1,77	
2.2.9.3	Entsorgung gefährliche Abfälle	-	-	100,0	-	-	
2.2.9.4							
2.10	<b>Summe durchsatzabhängige Betriebskosten</b>				<b>687.187</b>	<b>28,92</b>	<b>42,4</b>
2.3	<b>Summe Betriebskosten</b>				<b>1.155.865</b>	<b>48,65</b>	<b>71,4</b>
3	<b>Erlöse</b>						
		<b>Anteil %</b>	<b>Mg/a</b>	<b>€/Mg</b>	<b>€/a</b>	<b>€/Mg</b>	
3.1	<b>Matratzen</b>						
3.1.1	Schaumstoffe	0,007		80,00	13.306		
3.1.2	Metallfedern	0,006		80,00	11.405		
3.1.3	Textilstrukturen						
3.2	<b>Textilien</b>	0,033		-	-		
3.2.1	Teppichstrukturen						
3.2.2	Textilstrukturen allgem.						
3.3	<b>Metalle</b>						
3.3.1	Fe-Metalle	0,043		65,00	66.409		
3.3.2	Edelstahl	0,001		150,00	3.564		
3.3.3	Aluminium						
3.3.4	Buntmetalle						
3.4	<b>Kunststoffe</b>	0,004		100,00	9.504		
3.4.1	PVC						
3.4.2	hart PVC						
3.4.3	weich PVC						
3.4.4	PE/PP						
3.4.5	hart PE/PP						
3.4.6	weich PE/PP						
3.4.7	ABS						
3.4.8	weitere						
3.5	<b>Holz</b>	0,529		(8,00)	(100.552)		
3.5.0	Spanplatte	0,076		5,00	6		
3.5.1	AHK I						
3.5.2	AHK II						
3.5.3	AHK III						
3.5.4	AHK IV						
3.5.5	Summe Erlöse	0,6990					
3.6	Gesamterlöse				3.641	-	
4	<b>Jahreskosten</b>						
4.1	Jahreskosten mit Erlösen €/a				1.615.877		
4.2	Jahreskosten ohne Erlöse €/a				1.619.519		100
5	<b>Spezifische Kosten</b>						
5.1	Spezifische Kosten mit Erlösen €/Mg				68,01		
5.2	Spezifische Kosten ohne Erlöse €/Mg				68,16		

Tabelle 37: Musterberechnung Spezifische Kosten Sortieranlage Typ 1 - Durchsatz 23.760,00 Mg/a



**Bild 53: Zusammenhänge zwischen Investition, Betriebskosten und Durchsatz (log-Darstellung)**

Die genauen Kostenstrukturen möglicher Anlagen ergeben sich aus weiteren Rahmenbedingungen wie Grundstücks-, Planungs-, Gründungs-, etc. Kosten.

Den Betriebskosten sind mögliche positive Erlöse aus Sekundärrohstoffverkäufen gegenzurechnen.

## **23 Weitergehende Aufbereitung von Verbundobjekten durch händische Zerlegung**

### **23.1 Matratzen**

#### **23.1.1 Matratzenproduktion, Matratzen-Materialien-Mix**

Den höchsten Marktanteil halten in Deutschland zur Zeit Schaumstoffmatratzen, gefolgt von Taschen-Federkern- und Latexmatratzen (Tabelle 38).

Im Trend sind verstärkt Boxspringmatratzen (–betten), die sprunghaft Marktanteile übernehmen. Die im Zusammenhang damit stehenden Probleme werden im folgenden Untersuchungsteil beschrieben.

Nach Zerlegung der Matratzen werden folgende Materialströme bereitgestellt:

ca. 90 %

- Schäume aus Polyurethan (PU) und Latex sortiert und verpresst, die u.a. zu Teppichbodenunterseiten, Teppichunterlagen, Trittschalldämmung o.ä. verarbeitet werden,
- Federkerne und Taschenfederkerne aus Stahl als Sekundärrohstoff für die Stahlindustrie,
- Vliese und Federkernabdeckungen die in einem akzeptablen Hygienezustand der Alttextilnutzung zugeführt werden und

ca. 10 %

- Reste, wie unhygienisch verdreckte Textilanteile etc., die zur Ersatzbrennstoffherstellung (EBS) bereitgestellt werden.

<b>Produktionszahlen 2010 (Verband der europäischen Matratzen-Hersteller*)</b>						
			<b>Gesamt</b>	<b>Anteil PUR-Schaum</b>	<b>Anteil Latex</b>	<b>Federkern</b>
				38%	15%	47%
<b>Europa Matratzen</b>	Stck. M.	ca.	25.000.000	9.500.000	3.750.000	11.750.000
davon bekannt						
<b>Deutschland</b>	Stck. M.	ca.	6.500.000	n.n.	n.n.	n.n.
<b>Großbritannien</b>	Stck. M.	ca.	2.000.000	n.n.	n.n.	n.n.
<b>Belgien</b>	Stck. M.	ca.	2.700.000	n.n.	n.n.	n.n.
<b>Importe, hauptsächlich China</b>	Stck. M.	ca.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

\*Quelle:

Matratzenrecycling in Deutschland – eine Spurensuche - EU-Recycling Ausgabe 01/2012

Tabelle 38: Matratzenproduktion, Matratzen-Materialien-Mix

### 23.1.2 Altmatratzenpotential

Die folgende Tabelle entwickelt das Altmatratzenpotential in Deutschland aus diversen Literaturquellen (39).

<b>Altmatratzenpotential in Deutschland</b>			
<b>Einwohner</b>	E	ca.	<b>82.000.000</b>
<b>Gebrauchsdauer*</b>	a	ca.	<b>12,5</b>
<b>Matratzenpotential kommunal</b>	Stck. M/a	ca.	<b>6.560.000</b>
<b>aus den Bereichen:</b> - Krankenhäuser, - Hotels, - weitere			
<b>(15% vom kom. Potential)</b>	Stck. M/a	ca.	<b>984.000</b>
<b>ges. Matratzenpotential in Deutschland</b>	Stck. M/a	ca.	<b>7.544.000</b>
<b>Gesamtmasse bei einem Durchschnittsgewicht von 15 kg/M</b>	Mg/a	ca.	<b>113.160</b>
<b>* gewählt nach Literaturaussagen</b>			

Tabelle 39: Altmatratzenpotential

### 23.1.3 Gebrauchsdauer

Nach U. Carsten „Das Betten.de-Schlafmagazin“ einem Service der Möbel im Netz GmbH, Heubach sollte eine Matratze erneuert werden, wenn:

- „sie älter als 5-8 Jahre (bei preiswerten Matratzen) bzw. älter als 10-14 Jahre (bei hochwertigen Matratzen) ist
- sie eine Liegekuhle aufweist
- sie einen nichtabnehmbaren Bezug besitzt und älter als 5 Jahre ist
- sie täglich genutzt wird und das Raumgewicht unter 30 liegt“

Die slewo / schlafen leben wohnen GmbH, Zimmern o. R. empfiehlt eine Matratze aus hygienischen und orthopädischen Gründen alle 7-10 Jahre auszutauschen. Die TN Matratzen-Fachmärkte GmbH, Langenfeld und die Handwerk-Informationen, Berlin nennen durchschnittliche Nutzungszeiten von 20 Jahren, doppelt so viel wie die empfohlenen 10 Jahre. G. Lampel, Oldenburg geht von rund 7 Millionen ausgedienter Matratzen aus, die in Deutschland jährlich der Entsorgung zugeführt werden, diese Zahl entspricht in etwa den hochgerechneten 7,5 Millionen Matratzen aus Tabelle 39.

Recyclingzahlen 2010						
			Gesamt	Anteil PUR-Schaum	Anteil Latex	Federkern
				%	%	%
Europa Matratzen	Stck. M.	ca.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
<b>Recyclingzahlen bekannt</b>						
Deutschland	Stck. M.	ca.	<b>1.600.000</b>	n.n.	n.n.	n.n.
Großbritannien	Stck. M.	ca.	<b>160.000</b>	n.n.	n.n.	n.n.
Niederlande (Auping-Rücknahmesystem)	Stck. M.	ca.	<b>1.200.000</b>	n.n.	n.n.	n.n.
Niederlande: Hotels, Erholungsheime, Krankenhäuser, Kasernen, Gefängnisse,	Stck. M.	ca.	<b>200.000</b>	n.n.	n.n.	n.n.

\*Quellen:

Anzahl der in Deutschland produzierten Möbel nach Produktgruppen in den Jahren 2011 und 2012, Statista GmbH, Hamburg, Matratzenrecycling in Deutschland – eine Spurensuche - EU-Recycling Ausgabe 01/2012

Tabelle 40: Recyclingzahlen Matratzen

### 23.1.4 Großanfallstellen

Welche Bedeutung der Bereich Hotels, Erholungsheime, Krankenhäuser, Altenheime, Kasernen, Gefängnisse, etc. haben sollen zwei Beispiele zeigen.

#### 1. Hotelmarke Hilton will Matratzen zu 85 Prozent recyceln lassen

- Hilton hat ein unternehmens- zugehöriges Recyclingprogramm für Matratzen in seinen Hotels in den USA angefahren. Bei dieser Aktion sollen über 85 Prozent aller anfallenden alten Matratzen und Sprungfeder-Betten recycelt werden. Die Neuinvestition wird auf 60.000 Matratzen geschätzt.
- Der Dienstleister DH Hospitality liefert im Rahmen dieses Programms die neuen Matratzen aus und sammelt die verbrauchten zum werkstofflichen Recycling (Baumaterialien, Ölfiltern und Teppichen) ein.

#### 2. Blohm & Voss hat 2016 die Queen Mary II zur Überholung eingedockt; dabei wurden die Matratzen der Kabinen ausgetauscht und zur Verwertung an ein Hamburger Recyclingunternehmen gegeben.

=> Rahmendaten der Queen Mary II:

- 1.310 Kabinen
- 3.090 Passagiere
- 1.253 Besatzungsmitglieder
- Summe bis 4.343 Matratzen

Am Beispiel der Matratzen lässt sich das im Sperrmüll enthaltene Wertstoffpotential belegen, welches durch eine zerstörungsfreie Demontage erschlossen werden kann.

### 23.1.5 Grundsätzliches zur Verwertung von Matratzen

Nach unseren Erfahrungen können Matratzen wirtschaftlich in ihre Bestandteile zerlegt und verwertet werden. Neben dem Stahl wird der Schaumanteil der werkstofflichen Verwertung zugeführt. Die textilen Anteile finden derzeit in der Herstellung von Ersatzbrennstoffen Verwendung.

Das Bild 54 zeigt die einzelnen Aufbereitungsschritte beim Matratzenrecycling, Bild 55 beispielhaft das Ergebnis der Zerlegung.

#### Matratzensortierung

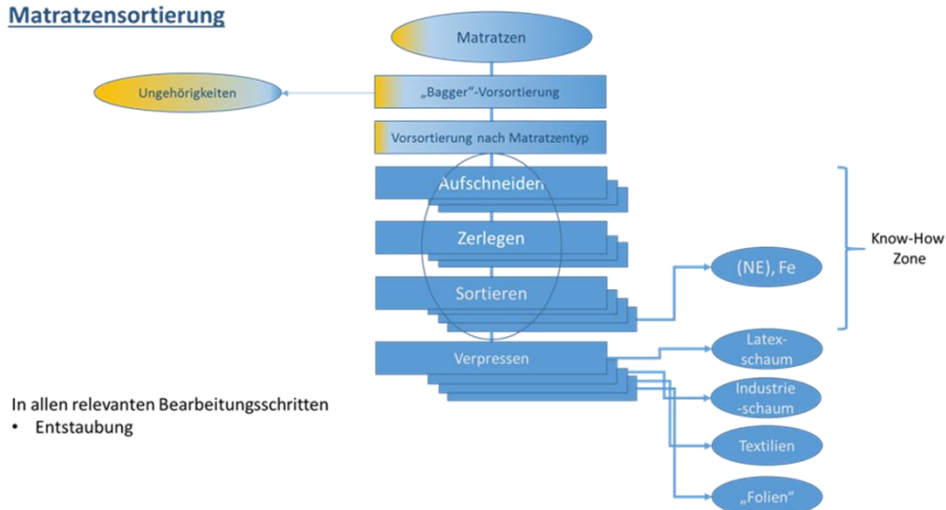


Bild 54: Matratzensortierung



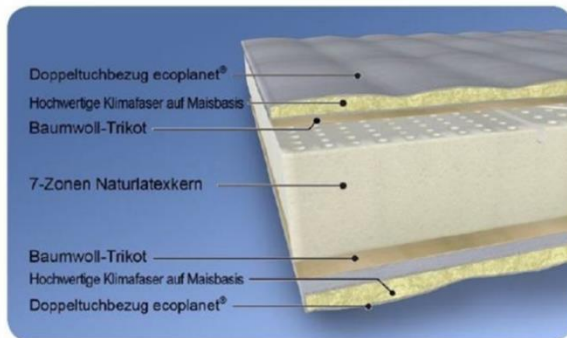
**Bild 55: Matratzenkonstruktionsmaterialien nach Matratzenzerlegung**

1. Latexschaum 2. Textilstrukturen 3. Matratzenstahl 4. Schaumstoffe

Verwertungsquote stofflich: > 90 %  
thermisch: ca. 10 %

Unabhängig davon, ob in einer Matratze ein Federkern enthalten ist oder nicht, fallen hauptsächlich Schaumstoffe (Bild 56) beim Recycling von Matratzen an. Für eine sortenreine Aufschlüsselung in jeweilige Schaumstoffarten, reicht selbst ein geschultes Auge nicht aus.

### Bericht Rohstoffquelle Sperrmüll – Matratzenrecycling



© Foto: schlafwelt.de  
Schnitt durch eine Latexmatratze. Auch wenn die Bezeichnungen auf eine spezifische Matratze hinweisen, ist der generelle Aufbau doch meist ähnlich. schlafwelt.de



Vielfalt der Matratzenschäume nach Demontage

14.01.2016



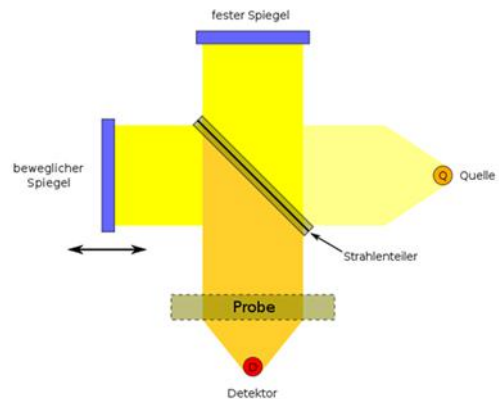
**Bild 56: Unterschiedliche Matratzenschäume**

Mobile kalibrierte Messgeräte (Bild 57) erlauben eine Identifizierung von Latex- und Schaumstoffarten. Im vorliegenden Bild handelt es sich um ein tragbares Erkennungsgerät (MDE) auf Nahinfra-

rottechnologie-Basis. Aus Kostengründen kann ein solches Gerät im vorliegenden Fall zunächst aber nur für den kontrollierenden Einsatz verwendet werden.



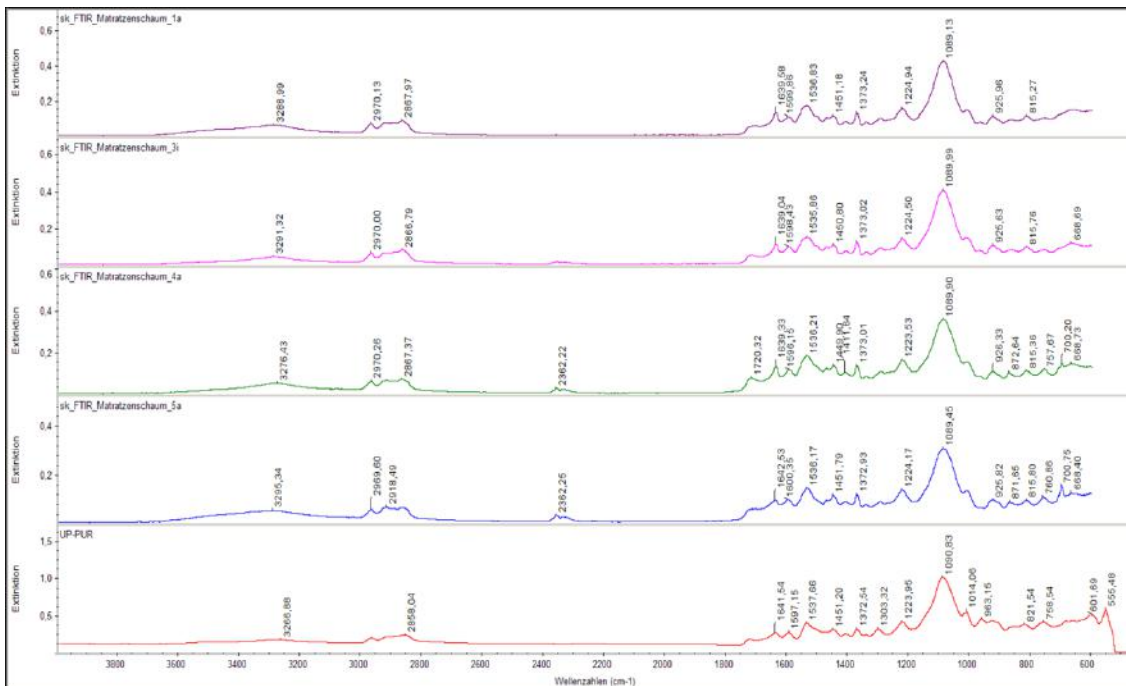
**Bild 57: Kunststofferkennung mittels Handmessgerät.**



**Bild 58: Fourier-Transform-Infrarot - Spektrometer (FTIR)**

Neben den Sortierungen bei der OAG, wurden an der Hochschule Osnabrück Untersuchungen zu verschiedenen Schäumen durchgeführt. Da eine Klassifizierung per Sichtkontrolle nicht möglich ist und die Schaumstoffe bei der OAG nicht genauer untersucht werden können, wurde eine FTIR-Untersuchung (FTIR steht für Fourier-Transform-Infrarotspektrometer, siehe Bild 58) an Schäumen im Vergleich mit einem Polyurethan aus der Datenbank der Hochschule Osnabrück durchgeführt (Bild 59).

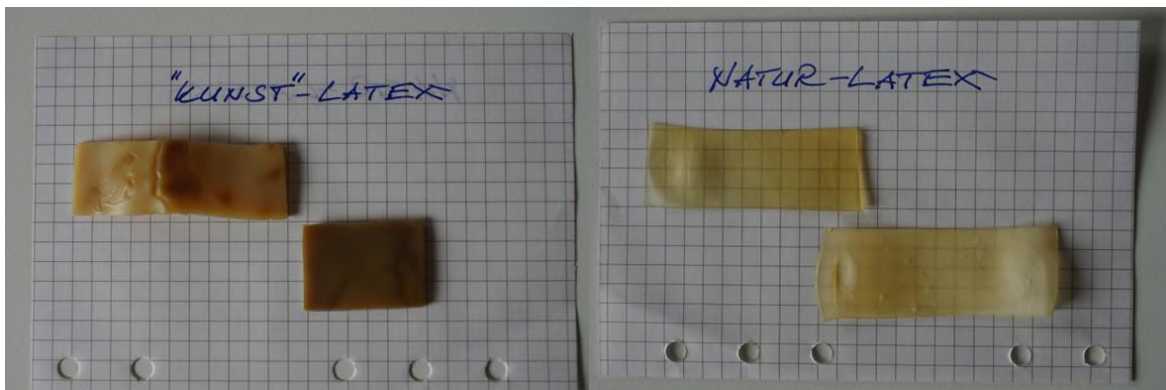
Die Klassifizierung des Schaums ist notwendig, um seine Verwertbarkeit einzuschätzen und den Sekundärrohstoff-einsetzenden Unternehmen eine größere Qualitätssicherheit zu bieten.



**Bild 59: Getestete Schäume und ein Polyurethan aus der Datenbank der Hochschule (Beispiel)**

Das Ergebnis der Untersuchung ergab folgendes Bild:

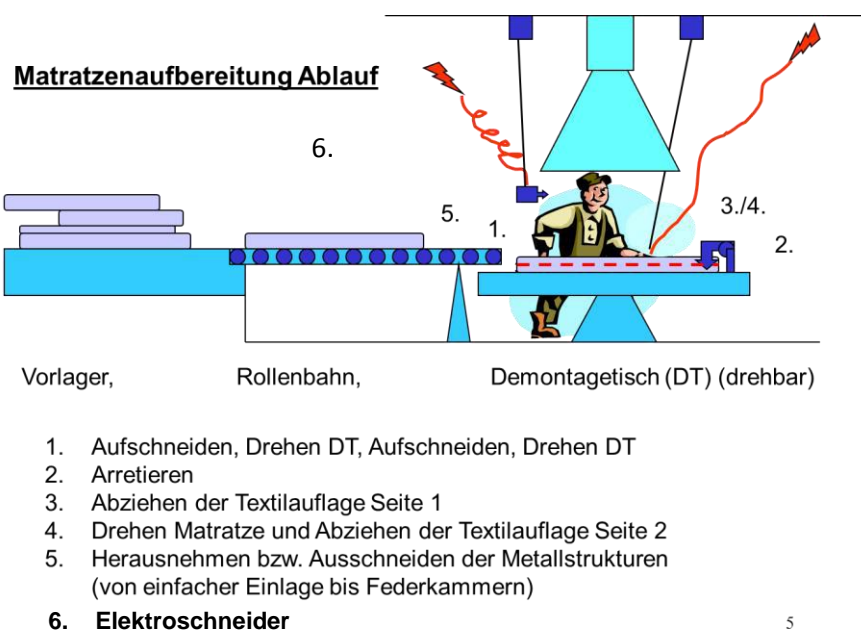
- Die Peaks (also die angeregten Bindungen) überschneiden sich sehr stark.
- Bis auf eine Probe hatten alle ein fast identisches FTIR-Bild und sind dem Polyurethan zuzuordnen.
- Einzelne Peaks deuten auf geringe Unterschiede im Polyurethan hin, dieses können verschiedene Additive, Verunreinigungen im Schaum, verschiedene Mischverhältnisse von Polyol/Isocyanat oder verschiedene Polyole/Isocyanate sein.
- Ein Schaumstoff wurde gefunden, der keinem Werkstoff aus der Datenbank zugeordnet werden konnte. Vermutlich handelt es sich dabei um Latex, dieses wurde im Rahmen von Vergleichsuntersuchungen überprüft. Hierzu wurden ein natürlicher Latex und ein künstlicher Latex (Bild ...) in die Datenbank aufgenommen.



**Bild 60:** Natur-Latex– „Kunst“-Latex-Proben von einem Matratzenhersteller als Vergleichsprobe

### 23.1.6 Praktische Hinweise zur Zerlegung kleiner Massen von Matratzen

Um auch für kleinere Massenströme von Matratzen eine arbeitsergonomische Haltung und eine Absicherung gegen Stäube bei der Zerlegung zu erreichen, wurde die im folgenden Bild 61 dargestellte händisch zu betreibende Zerlege-Apparatur entwickelt, die dazu auch noch die Wirtschaftlichkeit der Zerlegung verbessert.



**Bild 61:** Zerlege-Apparatur

Vorteile der Zerlege-Apparatur:

- organisierte Abläufe, ergometrisch bessere Situation
- geschlossener Arbeitsbereich, Luftabsaugung
- Brandlast gemindert
- höhere zu erwartende Leistung
- unterschiedliche Matratzentypen können ge“handelt“ werden
- Matratzen bleiben trocken

### **23.1.6.1 Beispiel Boxspringbett**

Am Beispiel einer modernen Bettkonstruktion, dem sogenannten Boxspringbett, soll die Zerlegetechnik für Verbundkonstruktionen (Bild 62) untersucht und bewertet werden. Gleichzeitig wird eine Bewertung solcher Konstruktionen bezüglich der Recyclingfähigkeit im Wettbewerb zu konventionellen Bettkonstruktionen vorgenommen.



**Bild 62: Demontage Boxspringbett**

Die vorhandene Teileliste und Montageanleitung des Boxspringbettes bot einen ersten Hinweis auf die Demontearbeiten, die bei einem als Sperrmüll abgegebenen Boxspringbett zu erwarten sind. Die relativ verständlich gegebenen und einfach wirkenden Hinweise täuschen aber über den realen Arbeitsaufwand hin, der sich bei der Demontage ergab. Ziel war die bestmögliche werkstoffliche Verwertung.

Das Aufschneiden des „Toppers“ (Oberlage) ergibt eine klare Trennung in Textilhülle und Schaumkern (Material Polyurethan (PUR)).

Das Freilegen der ersten Matratzenschicht lässt die unterschiedlichen Textilstrukturen der Matratzenhüllen erkennen.

Zunächst ist ein mit Vlies umhüllter Matratzenblock festzustellen, der in der Folge der Schnitтарbeiten erste Probleme bei der Materialtrennung erahnen lässt. Das anzusprechende Problem ist die „geklebte“ Vliesumhüllung (Polyester(PL)), diese behindert eine „arbeitszeitgerechte“ Trennung des Schaumstoffes (PUR) vom Vlies (PL) und beeinträchtigt damit die Recyclingfähigkeit des Schaumstoffes.

Die Trennung der PUR- Umhüllung vom Köcherfederkern erweist sich als problemlos.

Der mit der zweiten Matratze verbundene Bettkasten ergibt weitere Probleme die die stoffliche Verwertung bei der händischen Zerlegung behindern. Neben dem vorgetragenen Problem mit den Vliesaufklebungen auf den Polsterschäumen sind folgende Konstruktionsmerkmale zu hinterfragen:

- Verklebung der Untermatratze mit Bettkasten
- Verwendung von Krampen bei der Bepolsterung des Bettkastens
- Holzunterkonstruktion des Bettkastens erfordert eine „Schnelle, arbeitszeitsparende“ (zerstörende) Demontage des Bettkastens
- Mechanische Teile (z. B. Stoßdämpfer, Beschläge oder auch Fußkonstruktionen) am Bettkasten

#### **23.1.6.2 Boxspringbett: Demontageergebnis Erkenntnisse**

- Boxspringbetten unterscheiden sich deutlich von **konventionellen Bettkonstruktionen**, die im Allgemeinen aus Bettgestell, Lattenrost und Matratze individuell zusammengestellt sind und zumindest bei den Matratzen eine gute Recyclingzugänglichkeit gewährleisten.
- Boxspringbetten nähern sich in ihren Konstruktionsmerkmalen (z. B. ihren Verbundkonstruktionen) eher dem Polstermöbelbereich und damit deren Demontageproblemen an.
- Recyclingorientierte Boxspringbettkonstruktionen sollten zumindest für die Demontage einfache Lösungen bieten, z. B. Klettbandverbindungen etc..

#### **23.1.7 Verwertung der Schäume**

Nachdem durch den Ölpreisverfall und hohe Transportkosten die Verwertung von PUR-Schäumen in den USA nicht mehr wirtschaftlich dargestellt werden kann, gibt es keine Möglichkeiten mehr für eine werkstoffliche Verwertung in Deutschland. Eine Alternative - die H&S-Technologie - ist bekannt, jedoch noch nicht realisiert. Sie wird im Folgenden dargestellt.

##### **23.1.7.1 Recycling von PUR-Weichschaumstoffen**

Ein innovativer chemischer Recyclingprozess eröffnet die Möglichkeit, ein Recycling-Polyol zu erzeugen, das sich direkt wieder für die PUR-Weichschaumherstellung eignet und dadurch ökonomische und ökologische Vorteile bietet. Das Verfahren ist bekannt, in F&E-Verfahren entwickelt und im Pilotmaßstab erprobt (Bild 63 und 64). Zur Zeit wird ein Investor gesucht, um die Anlage zu realisieren.

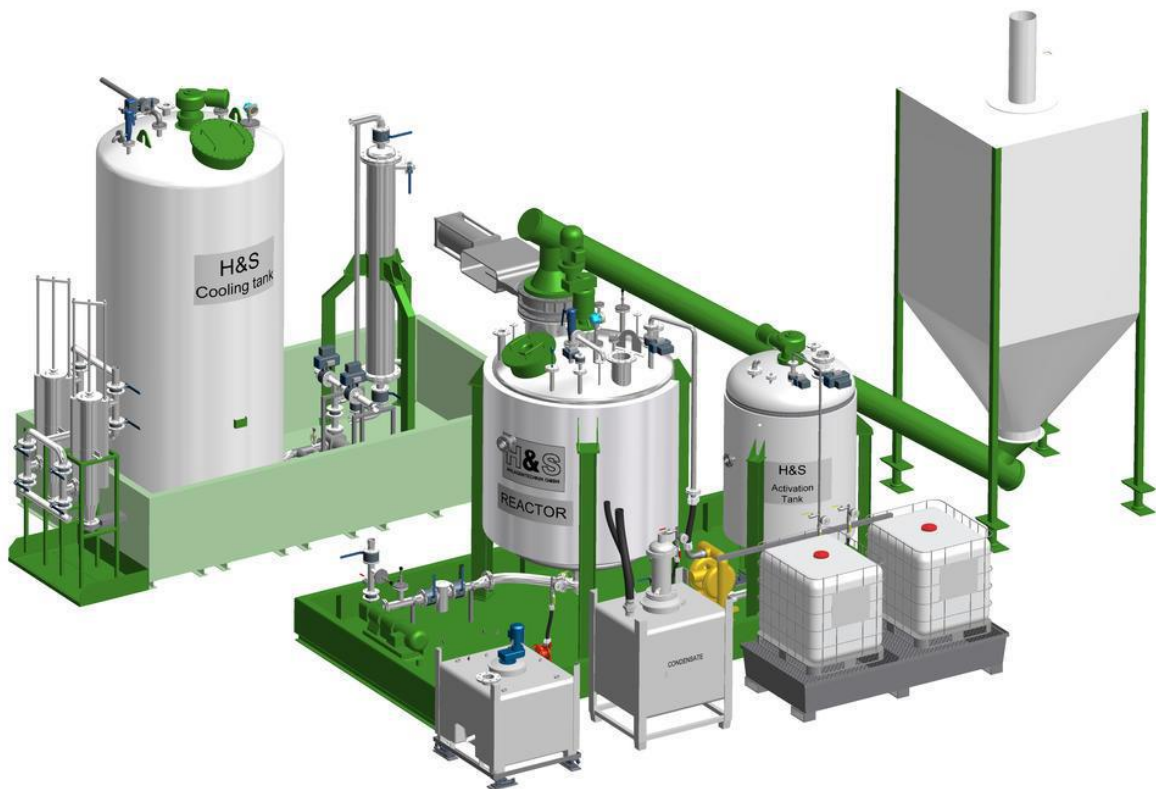
Die Technologie basiert laut Unternehmen (25) auf einem optimierten Acidolyse-Verfahren. Die so gewonnenen Polyole sollen bis zu 50 Prozent Neupolyole ersetzen können, ohne die physischen und mechanischen Eigenschaften des Endprodukts zu beeinträchtigen.

Im Gegensatz zu bisher bekannten Verfahren sollen die mit der H&S-Technologie gewonnenen Polyole keine gefährlichen primären aromatischen Amine enthalten. Die Kosten für die Rückgewinnung sind nach Unternehmensangaben um etwa 35 Prozent niedriger als der Marktpreis für Neupolyole.

Wie H&S berichtet, wurde das Verfahren auf einer kontinuierlich arbeitenden Produktionsanlage eines europäischen Herstellers von PU-Dämmplatten erprobt. Die Anlage soll 2.500 Tonnen Polyole pro Jahr gewinnen können. Nach Angaben von H&S werden derzeit von den jährlich etwa 30 Millionen in der EU entsorgten Matratzen 60 Prozent deponiert und 40 Prozent verbrannt.

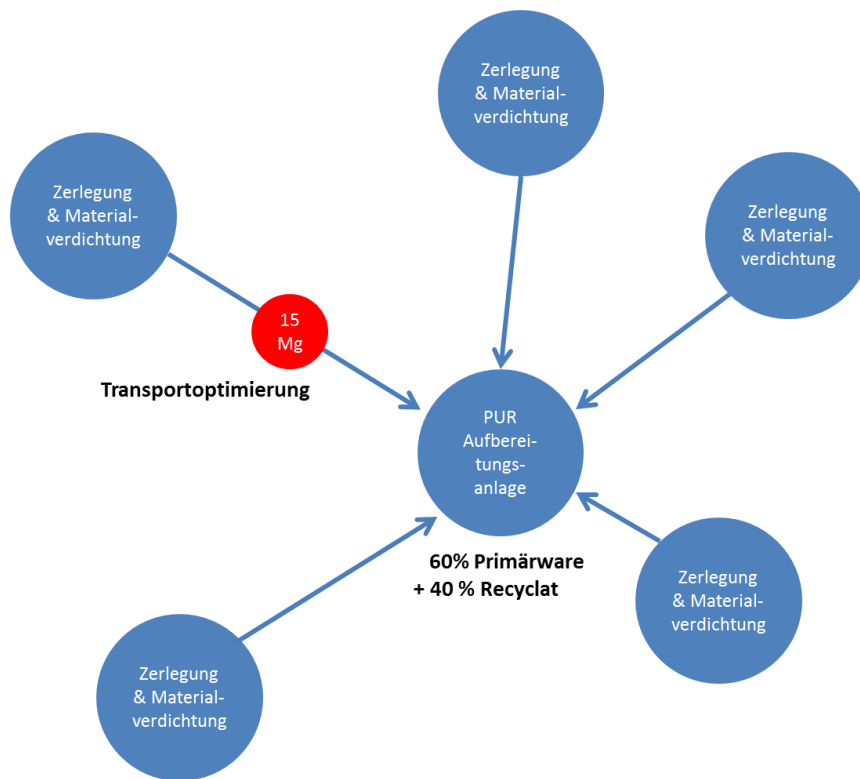


**Bild 63: PUR Aufbereitungsanlage H & S Anlagentechnik GmbH, Sulingen, (copyright DBU)**



**Bild 64: PUR Aufbereitungsanlage H & S Anlagentechnik GmbH, Sulingen (copyright DBU)**

Wirtschaftlich lässt sich das Verfahren nur realisieren, wenn über ein Satellitensystem (Bild 65) die Schaumstoffmengen gewichtsoptimiert und damit kostenminimiert der Anlage zugeführt werden.



**Bild 65: Satellitensystem PUR-Logistik**

## **24 Schlussbemerkung und Handlungsempfehlung**

Aus dem F&E-Projekt Sperrmüll ergeben sich auf Basis der Ergebnisse und Untersuchungen Vorschläge und Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Sperrmüllfassung -sammlung und -verwertung. Im Rahmen des Projektes haben wir uns neben der Vermeidung sowohl mit der Erfassung als auch Sammlung und Sortierung auseinandergesetzt. Des Weiteren haben wir die einzelnen Sperrmüllfraktionen auf ihre Beschaffenheit und Verwertbarkeit untersucht.

Das Projekt hat deutlich gemacht, dass die Verwertbarkeit im Wesentlichen vom Reinheitsgrad und der zweifelsfreien Zuordnung abhängig ist. Im Abgleich zu z.B. EU-Nachbarländer regeln in der Bundesrepublik gewollte strengere Grenzwerte die Verwertbarkeit z. B. von Altholz. Das wird und soll durch das F&E-Projekt nicht in Frage gestellt werden. Aber es lässt in der Folge Hinweise auf nur eingegrenzte Verwertungsmöglichkeiten zu.

Im Widerspruch dazu dürfte der internationale Handel mit Handelswaren stehen, aus dem dem Sperrmüllsektor augenscheinlich vorbelastete Materialströme zugeführt werden.

Im Zuge der Aufbereitung von Sperrmüll gibt es für die Stoffströme aus diesem gute Verwertungsansätze, die sowohl stofflich wie auch thermisch realisierbar sind. Demzufolge ist es unumgänglich, dass die energetische / thermische Verwertung nicht nur in das Szenario einzubeziehen, sondern auch in Teilbereichen der stofflichen Verwertung gleich zu setzen ist.

Der Erfolg der Aufbereitung ist eng mit dem Zusammenwirken der Beteiligten verbunden. Hier ist insbesondere im kommunalen Bereich auf die entsorgungspflichtige Gebietskörperschaft bei der

Organisation (Satzung), für die praktische Umsetzung auf die Entsorgungswirtschaft (privatwirtschaftlich/kommunal), aber auch Begleitung und Mitwirkung durch Industrie, Gewerbe, caritativen Einrichtungen sowie Verbänden und nicht zuletzt dem Bürger hinweisen.

Regionale Einflüsse und Besonderheiten sind weitere wichtige Positionen. Nicht zuletzt ist das Ergebnis einer recyclingrelevanten Sperrmüllfassung in Abhängigkeit vom politischen Willen zu einer hohen Erfassungsquote, den daraus folgenden Satzungsvorgaben und den Gebührenordnungen zu betrachten.

Je komfortabler, einfacher und verständlich das Angebot für die Abfallerzeuger ist, desto besser wird die Systematik angenommen und umgesetzt. In der Auswirkung ergeben sich höhere qualitative Verwertungsquoten. Ein Erfordernis für ein geschlossenes System analog zur Verpackungsverordnung ist nicht angezeigt.

Auf Basis der Mengenprofile relativ kleiner Erfassungsgebiete ist eine umfassende technische Lösung bezüglich der Aufbereitung von Sperrmüllaufkommen wirtschaftlich in diesen Gebieten nur bedingt möglich; damit bedarf es der Nachbehandlung durch auf besondere Stoffströme spezialisierte Aufbereitungsanlagen.

Zusammengefasst, der Erfassungs- und Sortiergrad ist direkt abhängig vom eingesetzten Ressourcenaufwand.

Als Resümee lassen sich die Bereiche Vermeidung, Nachnutzung, Bereitstellung, Erfassung, Sammlung, Sortierung und Aufbereitung sowie einzelne Stoffgruppen des Sperrmülls wie folgt zusammenfassen.

#### **24.1 Vermeidung / Nachnutzung**

Wie beschrieben findet nur eine eingeschränkte Nachnutzung von Mobiliar sowohl über den Antiquitätenhandel wie auch über Flohmärkte statt. Weiterverwendungsangebote über caritative Einrichtungen bzw. soziale Kaufhäuser entwickeln sich partiell. Dieses Angebot sollte ausgebaut werden. Angebote zur Nutzung sehen wir allgemein im sozialen Bereich.

Die Nachnutzung führt letztendlich aber nur zu einer zeitversetzten Zuführung des Mobiliars zum Sperrmüllaufkommen. Trotzdem hilft das System sozialer Einrichtungen sich zumindest in Teilen von der Weg-Werf-Mentalität abzukoppeln.

Aus den caritativen Einrichtungen / soz. Kaufhäuser werden die nicht absetzbaren Einrichtungsgegenstände, Möbel etc. geordnet und störungsfrei der verbleibenden Sperrmüllaufbereitung zugeführt werden.

Freie nicht genutzte Personalressourcen bei den sozialen Einrichtungen bieten sich an, vor Zuführung von Mobiliar in den Sperrmüllmarkt die Einrichtungsgegenstände zu zerlegen. Das hebt die abzugebende Qualität und damit die Chance zur stofflichen Verwertung einzelner Materialströme (z.B. Holz, Metall, Kunststoff) nachhaltig an.

#### **24.2 Bereitstellung / Erfassung**

Grundvoraussetzung für die getrennte Bereitstellung ist das Wissen um die Materialbeschaffenheit und der daraus resultierende Entsorgungsweg (siehe weiße und braune Ware).

Im gewerblichen Bereich werden wiederverwertbare Stoffe alleine aus wirtschaftlichen Erwägungen bereits in verstärktem Maße der Verwertung zugeführt. Dazu tragen auch bei anstehenden Entsor-

gungsaufgaben die Beratungen und Angebote aus der Entsorgungswirtschaft bei. Hinzu kommt, dass z.B. bei Ladenauflösungen oder ähnlichem der Abgebende im Eigeninteresse (Erlöse) an einer wirtschaftlichen Nachnutzung interessiert ist.

Hinsichtlich von Wohnungsaufösungen existiert in gleichem Maße ein funktionierender zum Teil professionaler gewerblicher Markt. Allerdings überwiegt hierbei für diverse Strukturen die Nachnutzung (Antiquitäten, Second Hand Markt).

Es besteht Handlungsbedarf im kommunalen Bereich durch Gestaltung von Satzungen, Beschreibung der abzugebenden Mengen, Vorhaltung von dezentralen Annahmestellen und auf den Bürger zugeschnittene Abgabetermine einhergehend mit Abfuhrhythmen die Sperrmüllfassung zu verbessern.

Im Sinne einer Optimierung und der Vermeidung der Vermüllung der Landschaft würde sich die umfassende Gestaltung eines für den Bürger komfortablen Systems empfehlen; dieses steht im Widerspruch zum Aufwand und der sich daraus ableitenden Gebühren.

In Ballungsgebieten kommen aus Organisationsgründen verstärkt Holsysteme zum Einsatz. In ländlichen Bereichen werden deutlich mehr Bringsysteme vorgehalten. Der Bürger ist meist so umweltbewusst, dass bei Übergabe an Recyclinghöfen eine gezielte und sortierende Abgabe des Sperrmülls erfolgt. Ein solches Bringsystem sollte durch Boni oder Rabatte flankiert werden. Da die Sperrmüllqualität durch das Engagement des Bürgers gesteigert und damit die werkstoffliche Verwertung gefördert wird, ist eine solche Flankierung angezeigt.

Beim Holsystem kann bezüglich der Beschaffenheit durch die getrennte Erfassung von bestimmten Stoffströmen durch die sortenreine Erfassung deutlichen Einfluss auf die Qualität genommen werden.

### **24.3 Sammlung / Logistik**

Konservativ wird im Rahmen des Holsystems der Sperrmüll über Pressfahrzeuge gesammelt und nachfolgend der Sortierung bzw. der Behandlung zugeführt. Infolge großvolumiger Presskammern einhergehend mit hohem Pressdruck der Verdichtungsplatten wird die Nutzlast der Fahrzeuge maximal ausgenutzt. Allerdings gehen dabei Möbelstücke zu Bruch und Weichmaterialien (Polster, Matratzen etc.) werden durch Splitter etc. verunreinigt. Das nach der Sammlung übergebene Material lässt oft keine Rückschlüsse auf den Ursprung zu, sodass eine zweifelsfreie Materialzuordnung erschwert ist. Oft sind die Materialien bereits zu klein, um im Rahmen einer händischen Sortierung abgegriffen zu werden. Ganz abgesehen davon.

Erfassungssysteme zur getrennten Sammlung mit unterschiedlicher Fahrzeuglogistik sowie Tourengestaltung zur möglichst sortenreinen Erfassung und damit gesteigerten Wiederverwertungsquoten bieten sich an. Ebenso können spezielle Sammeltouren für bestimmte Sperrmüllarten in diesem Sinne die sortenreine Erfassung unterstützen. Im Ergebnis zeigen die Untersuchungen auf, dass dadurch die Qualitäten von aussortierten Bestandteilen aus dem Sperrmüll und die wiederverwertbaren Mengen gesteigert werden.

Unbestritten entstehen durch die aufwendigere Logistik Mehrkosten. Die Versuchsreihen haben gezeigt, dass diese nur bedingt durch kostengünstigere Nachentsorgungen bzw. Wiederverwertungen aufgefangen werden können. Aus ökologischen Gründen ist jedoch eine Anpassung der Logistik zu befürworten.

Als Ergänzung zum Holsystem bieten sich dezentrale Recyclingplätze / -Einrichtungen an. Basierend auf dem gestiegenen Umweltbewusstsein des Bürgers als Anlieferer werden hohe Qualitäten bei den

unterschiedlichen Fraktionen erreicht. Als Auswirkung ergeben sich bekanntermaßen geringere Nachentsorgungskosten und gestiegene stoffliche und sonstige Wiederverwertungsquoten.

#### **24.4 Sortierung / Aufbereitung**

Das Projekt stützte sich auf die bekannten Ergebnisse des Sortierbetriebes, der OAG Osnabrücker Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH. Nach Erfassung und Sammlung über Pressmüllfahrzeuge wird das übergebene Sperrmüllgemisch mittels Baggervorsortierung getrennt, in Fraktionen aufgeteilt und das kleinstückige Gemisch einer Sortieranlage mit händischer Nachsortierung zugeführt. Die Organisation und Sortierung innerhalb dieses Betriebes sind geprägt vom Anforderungsprofil der sich anschließenden Nachaufbereitungsverfahren oder der direkten Verwertung.

Bereits zu Beginn des F & E-Vorhabens konnte durch Organisationsmaßnahmen eine Steigerung der Wertstoffquote auf über 73 % erreicht werden. Entsprechend der Umsetzung weiterer Maßnahmen konnte das Potential des Sperrmülls weiter ausgeschöpft und eine Verwertungssteigerung > 80% nachgewiesen werden. Unumstritten ist, dass in diese Überlegungen eine energetische Nutzung einzubeziehen ist. Eine reine stoffliche Verwertung in dieser Größenordnung ist nicht zu erzielen.

Eine Verarbeitung in nacheinander geschalteten spezialisierten Betrieben (Kaskadenmodell) Sinn. Hier stellen sich Fragen nach den verfügbaren Mengen und Transportentfernungen.

Bei händischen Sortierungen kann es sich nur um eine Vorsortierung handeln. Um eine von Störstoffen bereinigte Verwertungsqualität zu bekommen bedarf es der Nachbehandlung. Dieses ist in der Regel nur in dafür geeigneten Fachbetrieben zu erreichen. Die Qualitätskriterien nachfolgender Aufbereiter aber auch Verwerter setzen hier die Maßstäbe für die Aufwendungen in der ersten Sortierstufe.

Wie das Beispiel Schaumstoffe aus Matratzen aufzeigt, gibt es innovative Ansätze bezüglich einer sinnvollen Nachnutzung und das sowohl aus ökologischen aber auch ökonomischen Aspekten.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde bestätigt, dass die gezielte Aufbereitung von Sperrmüll die kostenträchtige Restabfallentsorgung entlastet und wirtschaftlich deutliche Vorteile mit sich bringt.

#### **24.5 Wertstoffpotentiale**

##### **24.5.1 Holz**

Die Holzanteile im Sperrmüll stellen mit deutlich über 50 % die größte Fraktion dar. Eine bessere Vorsortierung der Holzfraktion ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht von Vorteil. Der unbehandelte Holzanteil im Sperrmüll lässt sich derzeit nur bedingt aussortieren und verwerten. Die Ursache dazu ist die Vermischung und Kleinstückigkeit, die zu Sortierhemmnissen etc. führt.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik können aufwendige maschinelle Sortieranlagen einhergehend mit kostenintensiven Sortierautomaten nur bei einem wirtschaftlichen Input von > 45.000 Mg/a empfohlen werden. Im vorliegenden F&E-Vorhaben wurde aufgezeigt, dass durch Umstellungen im Erfassungsverfahren durchaus größere Potentiale zur Verbesserung der Quote für unbehandeltes Holz möglich sind.

Beim Aussortieren der Spanplattenbestandteile stört die Kleinstückigkeit. Unabhängig der Grenzwertbetrachtung bei den Schadstoffgehalten, kann die Separierung der Spanplattenfraktion durch umgestellte Anlieferungsmodalitäten nachhaltig gesteigert werden. Unsicherheiten auf der Abneh-

merseite infolge Grenzwertvorgaben und der Marktentwicklung behindern derzeit den Absatz. Eine Zusammenarbeit mit den Abnehmern zur Qualitätsanhebung ist erforderlich, um zu einer verbesserten Verwertung der Holzfraktionen zu finden.

An dieser Stelle soll nochmals auf die Möglichkeiten hingewiesen werden, die sich aus den Forschungsaktivitäten des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut WKI in Braunschweig ergeben.

Geringere Grenzwerte in benachbarten EU-Ländern führen über den internationalen Handel dazu, dass z. B. Möbelprodukte aus diesen Ländern zeitversetzt belastetes Holzmaterial in den Sperrmüll einfließen lassen.

### **24.5.2 Textil / Teppiche**

Derzeit verbleibt es bei der Baggervorsortierung und Zuführung zum Brennstoffmarkt (EBS). Ob und wann sich innovative Nachnutzungsmöglichkeiten ergeben bleibt abzuwarten.

Ein hoher Störstoffanteil - wie bei Teppichabfällen - im Sperrmüll ist für ein stoffliches Verwertungsverfahren problematisch und führt zu hohen Kosten. Bei der energetischen Verwertung ist zu beachten, dass Füll- und Schmutzstoffe den Heizwert stark reduzieren. Eine mechanische Zerkleinerung mit anschließender thermischer Verwertung scheint für verschmutzte Teppichabfälle das derzeit geeignete Aufbereitungsverfahren, aber nur dann wenn die Kraft-Wärme-Kopplung mit einbezogen oder der Einsatz in der Zementindustrie abgesichert ist.

### **24.5.3 Polstermöbel**

Polstermöbel weisen in aller Regel eine kompakte Bauweise aus und sind nur unter erschwerten Bedingungen zerlegbar. Das Rahmengerüst von Polstermöbel besteht z. B. überwiegend aus einem unbelasteten Holzgerüst, das aber wegen der Bauweise unter normalen Bedingungen nicht wirtschaftlich demontierbar ist.

Zu einer aufbereitungs- und verwertungsgerechten maschinellen Zerlegung bedarf es ausreichender Mengenströme, die typischerweise wegen der kommunalrechtlich begrenzten Erfassungsgebiete nicht vorliegen. Andererseits haben die Schredderversuche im F&E-Vorhaben ergeben, dass auch die vorhandene Technik einer Anpassung bzw. weiteren Entwicklung bedarf, um weitere Aufbereitungsschritte zu ermöglichen. Die in den vorliegenden Versuchsreihen gewonnenen Qualitäten entsprechen nicht den Erwartungen. Dennoch zeigen die Ansätze auf, dass diesbezüglich Verbesserungspotentiale im Hinblick auf eine Steigerung der Wertstoffquote vorhanden sind.

Es besteht Forschungs- und Handlungsbedarf zur stofflichen Verwertung von Polstermöbel und zur Standardisierung von Bauteilen, auch bezogen auf Weiterverwendung und Aufbereitung (Aufpolsterung - neu beziehen).

### **24.5.4 Metalle**

Mit Hilfe von Abscheidetechniken lassen sich bereits die größeren metallischen Bestandteile aus dem Sperrmüll erfassen. Störend zeigen sich hierbei nicht auszuschließende Restanhaftungen. Nicht erfasst werden bei den herkömmlichen Sortierverfahren kleinere metallische Bestandteile wie Steckverbindungen, Nägel, Schrauben etc.

Durch die im Vorhaben aufgezeigte Zerlegungsvariante oder Nutzung von Recyclinghöfen lässt sich aber ohne größeren Mehraufwand die stoffliche Verwertung steigern. Wobei zu berücksichtigen ist,

dass wegen des hohen materiellen Wertes schon heute eine nicht unerhebliche Menge abseits der organisierten Sperrmüllfassung wiederverwertet wird.

#### **24.5.5 Kunststoffe**

Im Zuge der herkömmlichen Erfassung über Pressmüllfahrzeuge ist eine Erfassung aus den bekannten Gründen - Kleinstückigkeit und mangelnde Identifizierungsmöglichkeit - sowohl vom Mengenvolumen als auch Zuordnung nur eingeschränkt möglich.

Alternativ schafft die getrennte Erfassung auch zur teilweisen Wiederverwertung - beispielhaft Spielzeugbörse – sinnvolle Möglichkeiten der Sperrmüllbewirtschaftung. Des Weiteren haben Versuche - begleitet durch die Hochschule Osnabrück - aufgezeigt, dass bei entsprechender und angepasster Vorsortierung durchaus Mengenströme sortiert werden, die stofflich einer Verwertung zugeführt werden können.

Entweder werden die Mengenströme nach Erfassung geeigneten Sortierstellen zugeführt oder im Zuge der Vorsortierung wird diese Leistung bereits in Abstimmung mit dem Verwerter der Kunststoffe erbracht. Entscheidend hierfür sind die Absatzmöglichkeiten.

#### **24.5.6 Matratzen**

Dem vorliegenden Bericht ist zu entnehmen, dass eine Zerlegung mit relativ einfachen Mitteln unter Zuhilfenahme durch Personaleinsatz wirtschaftlich darstellbar ist. Gewonnen werden hierbei textile, metallische und Schaumstoff-Rückstände, für die es separate Verwertungswege wie im Bericht beschrieben gibt.

Der Markt mit der praktizierten stofflichen Verwertung von PUR-Schaumstoffen in den USA ist eingebrochen. Die durchgeführten Versuche zeigen aber, dass Schaumstoffqualitäten erreicht werden können, die die Voraussetzungen für den Einsatz des PUR-Materials beim HSE-Verfahren absichern.

Das vielversprechende HSE-Verfahren bietet interessante stoffliche Verwertungsansätze. Es bedarf aber noch einer weitergehenden Erprobung in einem Pilotprojekt. Besonders die Logistikanforderungen zur PUR-Verwertung aus Matratzen muss erforscht werden.

Problematischer ist die Zerlegung und die sich anschließende werkstoffliche Verwertung von sogenannten Boxspringbetten. Wie bereits zu den Polstermöbeln ausgeführt und im Bericht beschrieben liegen Bauweisen vor, die eine Zerlegung deutlich erschweren oder aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr rechtfertigen.

#### **24.5.7 Verbunde / Sonstiges**

Hinsichtlich der Trennung von Verbundgegenständen kommt es in aller Regel auf die Zuordnung zu einer sinnvollen Nachbehandlung oder der Zuordnung zum Restmüllanteil an. Letzteres kommt für stark verschmutzte oder hygienisch nicht mehr einwandfreie Sperrmüllbestandteile in Betracht.

## Fazit

Aus dem F & E Vorhaben lässt sich nach unseren Feststellungen eindeutig belegen, dass im Sperrmüll Werkstofffraktionen enthalten sind, die aus ökologischen Gesichtspunkten der Wiederverwendung zugeführt werden sollten, was sich aus ökonomischen Gründen aber verbietet. Mit der direkten Zuordnung dieser Massen zum Restmüll und der Behandlung in einer Müllverbrennungsanlage werden wichtige Ressourcen ungenutzt vernichtet.

Aus der Diskussion mit Verwertern der selektierten Materialströme ergab sich, dass in Teilbereichen innovative Verwertungsverfahren entwickelt werden. Aus dem Kunststoffprojekt der Hochschule Osnabrück ist zu entnehmen, dass das Sekundärmaterial annähernd dem Primärmaterial gleicht, damit ergeben sich neue Aspekte der Verwertung. Deren Umsetzung bedarf der nachgestalteten Abstimmung mit der verarbeitenden Industrie.

Im Zusammenspiel aller Beteiligten (Bürger, Kommune, Gewerbe, Industrie, Entsorger, Handel und Verbände) und der Anpassung von bekannten Strukturen kann über Vermeidung, Zerlegung, gezielte Zuführung zur Erfassung und erster Stoffstromtrennung mit Sortierung das Potential der verwertbaren Stoffe nachhaltig gesteigert werden.

In diese Überlegungen ist die energetische Verwertung in der Kombination thermisch/elektrisch einzubeziehen.

In Bezug auf die Grenzwertproblematik der werkstofflichen Nutzung von Sekundärrohstoffen (z.B. Spanplatten) empfehlen sich Abstimmungsgespräche zwischen dem Gesetzgeber und den Herstellern sowie dem Handel, um Rechtssicherheit für eine höhere Einsatzquote zu schaffen. Ebenso empfehlen sich bezüglich der Zerlegeproblematik gleichgelagerte Gespräche, um die nachfolgende Aufbereitung und Nutzung von Werkstoffen aus dem Sperrmüll zu erleichtern.

Da überregionale Großanlagen zur Aufbereitung und Verwertung von Sperrmüll allein aus logistischen Zwängen wirtschaftlich nicht darstellbar sind, sollten Stoffstromverbunde ermöglicht und gefördert werden.

Mit dem vorliegenden F&E-Vorhaben werden verschiedene Lösungsansätze aufgezeigt und belegt, dass die Gewinnung von Sekundärrohstoffen und die Verwertung von Reststoffen aus dem Sperrmüll nachhaltig möglich sind. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse auf, dass hinsichtlich der Verwertung sei es stofflich oder auch energetisch wachsende Quoten möglich sind.

## Literaturverzeichnis

<b>Lfd. Nr.</b>	<b>Literaturstelle</b>
1	BUND, Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV), Rechtsregister
2	BUND, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz, KrWG), Rechtsregister
3	BUND, Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG), Rechtsregister
4	BUND, Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) Bundesrechtverordnung, Rechtsregister
5	BERLINER VERWALTUNGSGERICHT, - Kein Sperrmüllmonopol für Berliner Stadtreinigungsbetriebe (Nr. 3/2016), Pressemitteilung Nr. 3/2016 vom 12.01.2016
6	STATISTISCHES BUNDESAMT, Abfallarten 2014, Veröffentlichung 2016
7	KERN, M. und SPRICK, W. Abschätzung des Potentials an regenerativen Energieträgern im Restmüll (Studie für die Fa. Trieneckens, Viersen 2001)
8	LAMPEL, G. Fachgespräch und e-mail-Informationen zur durchschnittlichen Zusammensetzung von Sperrmüll und dessen Verwertung in Deutschland im Rahmen des F&E-Projektes, Osnabrück
9	TECHNISCHES BÜRO HAUER, Sperrmüllanalysen, Erhebung und Darstellung des Sperrmüllaufkommens in Wien im Vergleich zu Deutschland und Vorarlberg, Wien 2008,
10	PLADERER, CH. et al., Österreichisches Ökologie-Institut, Erhebung und Darstellung des Sperrmüllaufkommens in Wien Sortier- und Inputanalyse 2001, im Auftrag der MA 48, 2002 Wien
11	LESS, S., Sperrmüllanalyse 2010 im Großherzogtum Luxemburg, Administration de l'environnement, Division des Déchets, Ausführung BEYER, H-J et al., ECO-Conseil S.à r.l.,
12	LANDKREIS OSNABRÜCK, Satzung über die Abfallentsorgung (Abfallentsorgungssatzung), Landkreis Osnabrück, Veröffentlichung Internetauftritt AWIGO Abfallwirtschaft Landkreis Osnabrück GmbH
13	HAHNENKAMP, N., mdl. Mitteilung 2017
14	MÖWE gGmbH - Werkstätten - Dienstleistungen – Verkauf, Soziales Kaufhaus, Osnabrück, Informationen aus der Internetseite
15	LAMPEL, G., Eco-Mobilier - Das französische Entsorgungssystem für Möbel, Informationen von Oldenburg
16	LAMPEL, G., Informationen über e-mail
17	LABOTS, Van Werven, NL 2015, Unternehmensinformation, Flyer
18	MTM-PLASTICS GmbH, Unternehmensinformation, Flyer
19	BASELLORLEN, 2014, Unternehmensinformationen, Handout
20	LYONDELLBASELL, 2016, Unternehmensinformationen, Handout
21	ALBIS, 2016, Unternehmensinformationen, Handout
22	NEHLSSEN, Wiefels, Besuchsprotokoll
23	GOA, Gesellschaft im Ostalbkreis für Abfallbewirtschaftung mbH (GOA) in Ellert, Besuchsprotokoll
24	EKOcity-Verbund, Besuchsprotokoll
25	H & S ANLAGENTECHNIK, PUR Aufbereitungsanlage H & S Anlagentechnik GmbH, Sulingen, div. Firmenprospekte